

# 区域科技创新资源配置效果的分形评价

王宏起, 王雪原

(哈尔滨理工大学 经济管理学院, 哈尔滨 150080)

**摘要:** 科技创新资源配置效果是反映创新型国家和省区建设的重要尺度。为了科学准确地对其进行综合评价, 本文基于结构决定功能的系统原理, 运用分形理论, 构建了区域科技创新资源配置效果分形评价模型, 并对我国相关省、市、自治区的科技创新资源配置情况进行了分类评价, 旨在为各区域制定科技发展战略与政策、实现科技创新资源优化配置提供决策支持。

**关键词:** 区域科技创新资源; 资源配置; 分形评价

**中图分类号:** F204   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1002-980X(2008)01-0001-05

知识经济的发展使创新成为区域经济发展的关键因素, 我国“十一五”规划中明确提出提高我国自主创新能力的科技发展目标。科技创新资源是国家进行自主创新的必备物质条件, 其合理配置是国家科技持续发展的重要保障。在日益激烈的国际经济与科技竞争中, 由于科技创新资源数量有限, 具有明显的稀缺性, 科技创新资源已经成为国家或区域最重要的战略资源。而随着知识更新速度的加快, 科技创新日新月异, 高新技术及其产品的生命周期不断缩短, 科技创新资源的衰退性也日益突出, 这主要表现在:

1) 科学的发展使知识更新速度加快, 科技创新人员只有不断地学习、参与科技创新活动以及更新知识, 才能适应科技创新与发展的需要。

2) 科技创新人员最佳创新阶段具有较强的时限性, 超过了这一期限, 其在反应速度、学习效果和创新性思维等方面的能力会逐渐减弱。

3) 高新技术的迅速发展, 使新技术及设备的有效使用周期进一步缩短。

4) 互联网、通讯设施的发展, 使科技信息的时效性不断增强, 信息资源价值的衰减愈加明显。

区域科技创新资源的稀缺性与衰退性决定了对其进行优化配置的必要性。科技创新资源的优化配置和利用效率是衡量一个区域科技创新水平、区域

综合竞争实力和持续发展能力的重要标准, 这已成为世界各国谋求经济发展和提高科技创新能力的重点。因此, 构建科学合理的区域科技创新资源配置效果评价体系, 及时掌握区域科技创新资源配置状态, 为政府科技管理部门制定科技规划和政策提供科学依据, 具有重要的现实意义。

## 1 分形评价方法选择

根据“系统结构决定其功能”的系统科学原理, 科技创新资源结构决定资源配置系统功能, 并直接影响其系统的运行效果。为此, 评价区域科技创新资源配置效果, 应从系统结构优化入手, 基于区域科技创新资源系统结构与分布特征, 设计评价指标体系和选择适宜的评价方法。

分形评价方法是一种从系统结构与分布特征角度评价系统运行效果的有效方法。0分形理论最初是Mandelbrot提出来的<sup>[1]</sup>。分形是指组成部分以某种方式与整体相似的几何形态, 或是指在很宽的尺度范围内, 无特征尺度却有自相似性和自仿射性的一种现象。所谓自相似性是指物体局部结构放大与整体相似的特征, 即无论怎样变换尺度来观察一个物体, 总是存在更精细的结构并且其结构总是相似的, 级别愈接近, 相似程度愈大, 反之, 则愈小。当超出某一范围(无标度区)时, 相似性消失<sup>[2]</sup>。“分

收稿日期: 2007-11-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70473020); 黑龙江省科技攻关计划项目(GC06J404); 黑龙江省自然科学基金项目(G200608)

作者简介: 王宏起(1958—), 男, 黑龙江省哈尔滨人, 哈尔滨理工大学经济管理学院教授, 博士生导师, 研究方向: 高新技术发展与战略管理; 王雪原(1981—), 女, 黑龙江省哈尔滨人, 哈尔滨理工大学经济管理学院博士研究生, 研究方向: 高新技术发展与战略管理。

维”叫做分形维数,是对非光滑、非规则、破碎的等级极其复杂的分形客体进行定量刻画的重要参数,它表征了分形的复杂程度、粗糙程度<sup>[3]</sup>。按传统的观点,维数是确定系统状态的独立变量,只能取整数。在分形理论中,对于一个分形客体,它的维数一般都不限于整数,可取任何实数值。分形几何及其分形概念否定了在传统几何中点、线、面、体等之间性质全然不同的绝对分明的界限,揭示了点线面体之间、整形(即规则图形)与分形之间、离散与连续之间的辩证关系<sup>[4]</sup>。

目前,分形方法已经扩展到了在结构、功能、信息、时间等上具有自相似性质的广义分形。区域科技创新资源配置效果评价满足分形要求:首先,科技创新资源在区域范围共享程度的提高,科技人力资源与信息资源等流动的加快,使得区域及所辖地区的科技创新资源界限逐渐模糊;其次,区域科技创新资源配置系统在功能与结构上与国家层次和地区层次的科技创新资源配置系统存在自相似现象。为此,可采用分形方法对区域科技创新资源配置系统运行情况进行评价。

采用分形评价模型衡量区域科技创新资源配置效果,其主要优点在于:①区域及所辖地区两个层次科技创新资源之间需要一种无标度区间的概念来刻画其中的过渡特征,分形维数是刻画事物层次的有效参数;②区域科技创新资源配置效果是由多个变量复杂的交互影响而产生的,其评价指标函数具有非线性特征,但许多方法只能处理二维与线性问

题<sup>[5]</sup>,而分形方法则可有效解决非线性、不规则问题;③适于反映和刻画系统内部的结构与分布特征<sup>[6]</sup>。因此,本文采用分形评价方法评价区域科技创新资源配置效果。

## 2 分形评价模型的构建

(1)评价模块选择与指标变量分解 区域科技创新资源配置效果评价可以从投入与产出两个方面进行考虑,采取的考察指标主要有:区域高新技术产值(反映科技创新资源产业化水平)、区域拥有授权专利数量(反映科技创新资源的直接产出水平)、区域技术市场成交合同金额(反映一个地区技术市场的完善程度)、企业科技活动人员、企业研发经费、企业科技活动课题数(反映企业创新主体作用的发挥情况)、高校科技活动人员、高校研发经费、高校研究与发展课题数(反映高校作为基础知识创新主体的科技活动行为)、科研院所科技活动人员、科研院所科研经费、科研院所研究与发展课题数(反映科研院所基础和应用研究的科技活动行为)、财政科技经费(反映地方政府对科技创新的支持力度)。在考察区域配置系统当前运行效果的同时,还应当对由各项科技指标发展速度所反映的区域科技发展潜力进行评价分析,以对区域的未来发展趋势有所把握,为政府科技管理部门采用相应的措施进行调整与引导提供客观依据。评价区域科技发展潜力所采用的指标主要是基于影响配置系统运行效果的相关指标对应的增长率来考虑的,具体如表 1 所示。

表 1 区域科技创新资源配置效果与发展潜力评价指标

评价模块	指 标
当前配置效果	区域高新技术产值、区域拥有授权专利数量、区域技术市场成交合同金额、企业科技活动人员、企业研发经费、企业科技活动课题数、高校科技活动人员、高校研发经费、高校研究与发展课题数、科研院所科技活动人员、科研院所研发经费、科研院所研究与发展课题数、财政科技经费
未来发展潜力	区域高新技术产值增长率、区域拥有授权专利数量增长率、区域技术市场成交合同金额增长率、企业科技活动人员增长率、企业研发经费增长率、企业科技活动课题数增长率、高校科技活动人员增长率、高校研发经费增长率、高校研究与发展课题数增长率、科研院所科技活动人员增长率、科研院所研发经费增长率、科研院所研究与发展课题数增长率、财政科技经费增长率

(2)数据处理 对上述指标值进行标准化处理,消除量纲不统一带来的影响,上述指标均为正向指标,可采用半升梯形模糊隶属度函数对其进行量化处理,公式如下:

$$q_{ij} = \frac{x_{ij} - m_{ij}}{M_{ij} - m_{ij}} \times 100, \quad (1)$$

式(1)中: $x_{ij}$ 为第*i*个区域的第*j*个指标值; $M_{ij}$ 与 $m_{ij}$ 分别表示不同区域第*j*个指标的最大值与最小值; $q_{ij}$ 表示指标的标准化值,其值在0~100之间。

得到经过标准化处理的一组数据后,还应进一步消除数据之间的相关性。 $q_i = (q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{im})$ 是一个 $n_i$ 维随机向量,构成的矩阵用 $Q$ 来表示,各个子指标之间一般都存在着一定的相关性。根据多元统计分析的原理,若已知随机变量 $q_i$ 的协方差矩阵 $cov(Q)$ ,其中 $n_i$ 的特征根为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ ,对应的特征向量为 $a_1, a_2, \dots, a_m$ ,记 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ ,则可以通过如下变换,消除各指标之间的相关性<sup>[7]</sup>:

$$Z_i = Aq_i^T \quad (2)$$

将  $Z_i$  转置后得到的矩阵,就是原矩阵  $Q$  消除指标相关性后得到的变换矩阵,可利用该矩阵数值,进行分形评价与分维。

(3)分形评价与分维 将区域科技创新资源配置效果评价指标视为  $N$  维空间中各个坐标上的点,所有这些点组成  $N$  维欧氏空间中的一个子集  $J(N)$ ,定义这些点到原点的距离为  $d_{ij}$ ,如果  $Z_{ij} < 0$ ,取  $\delta = \max\{|Z_{ij}|, Z_{ij} < 0\}$ ,做变换  $Z_{ij} \Rightarrow Z_{ij} + \delta$ ,使  $J(N)$  中的每个  $Z_{ij} \geq 0$ 。任意给定一个半径  $r > 0$ ,以原点为球心,  $r$  为半径作球,这样  $E^N$  中  $d_{ij} < r$  的  $N(r)$  个点都位于球内;再改变  $r$  的值重新作球,直到  $r = R$  时,球恰好包含所有的  $N$  各点,则半径为  $r$  的球内的点数  $N(r)$  可表示为:

$$N(r) = \sum_{i,j} H(r - d_{ij}) \quad (3)$$

其中,  $H(x)$  是 Heaviside 函数:

$$H(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$N(r)$  随着  $r$  的增大而增大,当  $r$  趋近于  $R$  时,  $N(r) \rightarrow N$ ;当  $r$  过小时,  $N(r) \rightarrow 0$ ;当  $r$  取适当的值使得  $N(r)$  随着  $r$  的变化呈现幂函数时,子集具有分形的特征,其分维数  $D_1 = \ln N(r) / \ln r$ 。在双对数图  $\ln N(r) - \ln r$  上,利用最小二乘法通过直线拟合可以求出分维数  $D_1$ ,  $D_1$  反映了指标点在空间的分布状态<sup>[8]</sup>。区域科技创新资源配置效果较好的区域有较多的点分布在  $N$  维欧氏空间中离原点较远的地方,运行效果较差的区域则有较少的点分布在离原点较远的地方。在双对数图上,配置系统

运行效果较好的区域所反映出的斜率总是大于配置系统运行效果较差的区域,因而区域科技创新资源配置效果可以通过分形维数来表征。区域科技创新资源配置系统的未来发展潜力也可以采用同样的方法求出维数  $D_2$ ,  $D_2$  的大小就可以反映区域配置系统未来发展潜力的大小。

### 3 我国各区域科技创新资源配置系统运行效果评价

(1)评价对象确定 区域科技资源优化配置效果评价以我国省级行政区域作为评价对象,由于西藏在国家科技统计年鉴中缺少有关科技指标统计值而被剔除,因此本文选择 30 个省、市、自治区作为评价对象。

(2)评价指标选择与指标值处理 首先,按照指标数据可采集原则,根据我国科技统计年鉴提供的的数据资料,对评价指标体系(见表 1)进行收敛,剔除企业科研经费和科研院所相关指标,选择区域高新技术产值、区域拥有授权专利数量、财政科技经费等 9 个评价指标,采用《2006 年中国科技统计年鉴》相关统计数据作为指标值,并对其进行标准化处理。同时,应用 Matlab 软件求出规一化矩阵的协方差矩阵及其特征值和对应的特征向量,并消除矩阵各指标的相关性,将处理后的指标数值转化在 0~100 之间,求出在  $N$  维欧氏空间中各区域指标在以  $r$  为半径的点数,并进一步求其对数,计算结果如表 2 所示。

表 2 配置系统运行效果评价对数图的相关数据

$r$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\ln r$	2.303	2.996	3.401	3.689	3.912	4.094	4.249	4.382	4.500	4.605
$\ln N(r 1)$	2.408	2.408	2.408	2.408	3.507	4.017	4.200	4.200	4.354	4.605
$\ln N(r 2)$	2.408	3.101	4.017	4.200	4.200	4.200	4.354	4.487	4.605	4.605
$\ln N(r 3)$	—	3.507	3.794	4.017	4.354	4.354	4.354	4.487	4.487	4.605
$\ln N(r 4)$	3.507	3.507	4.017	4.017	4.200	4.354	4.354	4.487	4.487	4.605
$\ln N(r 5)$	3.794	3.794	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.354	4.354	4.605
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\ln N(r 25)$	3.101	3.794	4.017	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.487	4.605
$\ln N(r 26)$	—	3.101	3.507	4.200	4.354	4.487	4.487	4.605	4.605	4.605
$\ln N(r 27)$	3.794	4.017	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.354	4.354	4.605
$\ln N(r 28)$	4.017	4.017	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.354	4.605
$\ln N(r 29)$	4.017	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.354	4.605
$\ln N(r 30)$	3.794	4.017	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.354	4.605

(3)分形维数求解 以  $\ln r$  为横坐标,以  $\ln N(r)$  为纵坐标,利用 Matlab 软件,采用最小二乘法对直线进行拟合计算,求出的斜率即为各地区

的分形维数 (Matlab:  $p = \text{polyfit}(x, y, 1)$ ,  $x = [2.3026 \ 2.9957 \ 3.4012 \ 3.6889 \ 3.9120 \ 4.0943 \ 4.2485 \ 4.3820 \ 4.4998 \ 4.6052]$ );采用同样的方法



对各区域的科技发展潜力进行评价分析,求出各区域的发展潜力维数。为了进一步检验利用最小二乘法得到的直线方程对原问题的拟合程度与效果,求出计算值与实际值之间的相关系数以进一步分析拟合效果(Matlab:  $R = \text{corrcoef}(x, y_i); r = R(1, 2)$ ),得到相关结果的具体情况如表3所示。

表3 分形评价结果与相关系数

序号	省市	配置效果分形维数	配置效果相关系数	发展潜力分形维数	发展潜力相关系数
1	北京	1.124 6	0.877 4	1.652 0	0.909 0
2	天津	0.932 6	0.960 9	1.641 4	0.950 7
3	河北	0.668 0	0.976 7	1.190 5	0.955 0
4	山西	0.517 8	0.968 1	1.025 4	0.977 0
5	内蒙古	0.301 7	0.902 8	1.156 5	0.945 0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	云南	0.534 5	0.943 1	1.133 7	0.951 9
26	陕西	0.960 1	0.946 6	1.188 7	0.945 7
27	甘肃	0.263 9	0.908 6	1.590 3	0.969 8
28	青海	0.176 1	0.773 1	0.908 7	0.950 4
29	宁夏	0.145 3	0.701 8	0.370 4	0.954 5
30	新疆	0.245 8	0.870 2	1.257 9	0.974 1

从表3中可以发现,计算值与实际值之间的相关性很高,一般在0.8以上,这表明直线的拟合效果较好,较为真实、客观地反映了我国区域科技创新资源配置效果与发展潜力。结合聚类分析方法,采用SPSS软件对区域科技创新资源配置系统运行效果与发展潜力进行聚类分析,并根据需要做出相对调整,得出最终结果如下:

1)配置效果。根据我国各区域科技创新资源配置效果的分形维数情况,将其分成四类:

- A:上海(2以上);
- B:天津、黑龙江、陕西、广东、湖北、北京、浙江、辽宁(0.9~2);
- C:山西、河南、云南、广西、江西、吉林、江苏、安徽、河北、山东、重庆、福建、四川、湖南(0.5~0.9);
- D:宁夏、海南、青海、贵州、新疆、甘肃、内蒙古(0.35以下)。

2)发展潜力。根据我国各区域科技发展潜力的分形维数,也将其分成如下四类:

- A:辽宁、江苏、上海、甘肃、吉林、天津、北京、河南、江西、山东、贵州(1.5以上);
- B:新疆、四川、浙江、福建(1.2~1.4);
- C:青海、黑龙江、山西、重庆、湖北、湖南、安徽、云南、广西、广东、内蒙古、陕西、河北(0.9~1.2);
- D:宁夏、海南(0.5以下)。

利用Mapinfo软件,按照我国各区域科技创新

资源配置系统运行效果分形维数所属类别画出相应的图示,如图1所示。

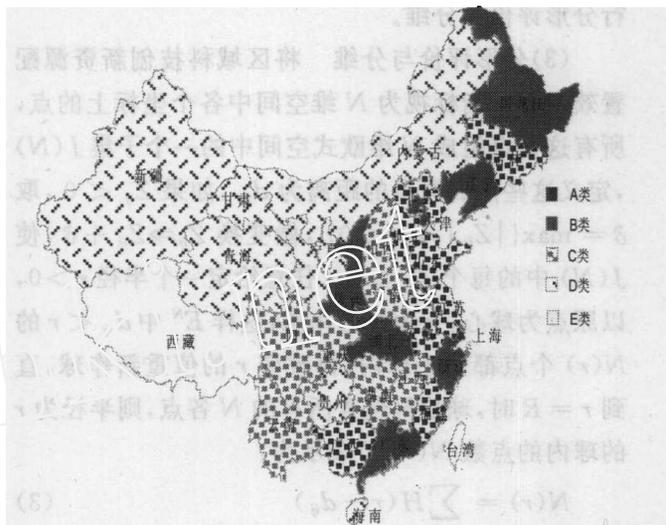


图1 我国各区域科技创新资源配置系统运行效果评价结果示意图

利用科技创新资源配置系统运行效果与区域科技发展潜力分形维数,建立区域科技创新资源配置系统的“二维情况”表,以更加有效地反映区域科技创新,具体如表4所示。

表4 区域科技创新资源配置系统的“二维情况”表

效果 \ 潜力	A	B	C	D
A	上海			
B	天津、北京、辽宁	浙江	黑龙江、陕西、广东、湖北	
C	河南、江西、吉林、江苏、山东	福建、四川	山西、云南、广西、安徽、河北、重庆、湖南	
D	贵州、甘肃	新疆	青海、内蒙古	宁夏、海南

在评价结果中,江苏、山东、重庆在我国各省科技进步总排序中的排名数值偏低。其中,江苏省排名相对较低是因为江苏省高校科技经费投入与高校承担的科技活动课题数较低,资源配置结构不够合理所致,建议大力提高高校科技创新经费投入和科技项目数,以提高科技资源配置效果;山东省排名较低的原因是因为高新技术产业相对于其他科技活动指标数值偏低,建议加快高新技术产业发展;重庆市排名较低的原因是因为企业科技活动人员、企业承担的课题数以及区域的授权专利拥有量相对落后,建议加强企业科技创新,以进一步优化科技创新资源配置。总之,各区域应当从区域科技创新资源配置的结构优化入手,针对存在的具体问题,提升其科技创新资源配置效果。

以上评价结果反映了我国各区域科技创新资源配置效果和发展潜力,为各省、市、自治区的科技创新资源优化配置提供了科学依据。

处于 AA 区的上海,在区域科技创新资源配置上具有明显优势,其当前配置效果与发展潜力从分形角度看都处于全国领先地位,应当加强对上海科技发展的支持,积极推进国际合作,将其建成我国与国际科技接轨的科技辐射源,充分发挥其带动与牵引作用,在促进周边区域科技与经济的同时,还可以同我国其他省份开展多种形式的科技合作,以有效发挥其科技龙头作用。

处于 BA 区的北京、天津以及辽宁三省市科技发展潜力处于 A 类位置,应当保持其科技快速发展态势,尽快提升区域科技创新资源配置效果;处于 BB 区的浙江则应当优化创新环境、增加科技投入、创造更多的科技产出,有效提高区域科技发展潜力,努力晋升到 BA 区。

对于处于 CC 区、DC 区与 DD 区的相关省份,科技优势较弱,建议结合区域特色,通过积极引进技术、创新人才,积极开展技术消化、吸收等模仿创新,改善当前的不利局面;处于 CA 区、BC 区与 CB 区的省份,虽然在某一方面处于 C 类的不利位置,但是在另一方面仍然具有一定的优势,建议这些省份加大对科技发展的支持力度,充分利用当前具备的优势,弥补自身不足,促进区域科技创新资源优化配置,提升区域科技创新能力。

#### 4 结论

在创新型国家建设中,区域科技创新资源的优

化配置已成为我国各省、市、自治区政府关注的重点,基于结构决定功能的系统原理,本文从区域科技创新资源配置系统的分布特征与结构入手,运用分形理论,构建了区域科技创新资源配置效果分形评价模型,并对我国 30 个省、市、自治区的科技创新资源配置情况进行了分类评价,并根据评价结果,提出了有关优化科技创新资源配置的建议。本文研究为及时、准确地掌握区域科技创新资源配置状态和提高资源利用效率提供了有效的评价方法和决策支持。

#### 参考文献

- [1] 程赓,武忠.基于分形的知识链评价模型[J].科技情报开发与经济,2006(7):159-161.
- [2] 朱罡,程胜高,蔡俊雄.基于分形理论的生态环境影响评价范围定量研究[J].环境科学与技术,2006(3):33-34.
- [3] FABRIZIO B,GABRIELE B,MARCO M,MASSIMO B. Two-dimensional variation algorithm for fractal analysis of sea SAR images[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing,2006,44(9):2361-2373.
- [4] 宋聚生,郭恩章.分形维数在城市发展综合实力分析中的应用[J].哈尔滨工业大学学报,2006(8):1213-1215.
- [5] JIANG Y J,LI B,YOSHIHIKO T. Estimating the relation between surface roughness and mechanical properties of rock joints[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences,2006,43(6):837-846.
- [6] 袁剑波,许雪大.基于分形理论的公路网评价研究[J].公路与汽运,2005(12):101-103.
- [7] 秦耀辰.区域系统模型原理与应用[M].北京:科学出版社,2004:330.
- [8] 段娟,文余源.我国省域城乡互动发展水平的综合评价.统计与决策[J],2007(3):67-69.

### Fractal Evaluation on Allocation Effect of Regional Science and Technology Innovation Resources

Wang Hongqi, Wang Xueyuan

(School of Economics & Management, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

**Abstract:** The allocation effect of regional science and technology innovation resources is an important measure to reflect the construction of innovating-type countries and provinces. In order to make scientific comprehensive evaluation, this paper establishes the fractal evaluation model of allocation effect of regional science and technology innovation resources on the basis of fractal theory and system principle which is that structure determines function, and makes classified evaluation on the allocation effect of science and technology innovation resources of some provinces, cities and municipalities in China, the purpose of which is to offer decision support for each region in China to make the science and technology development strategy and policy and to realize the optimal allocation of science and technology innovation resources.

**Key words:** regional science and technology innovation resource; resource allocation; fractal evaluation