

# 广东省区域技术创新能力测度的灰色关联分析

徐 辉, 刘 俊

(广东商学院工商管理学院, 广东 广州 510320)

**摘要:** 区域技术创新能力是构建区域创新体系的中心问题, 建设创新型区域是提升区域竞争力、促进区域经济社会发展的必由之路。提出了一套区域技术创新能力的测度指标体系, 分析研究了区域技术创新能力形成机理及其数学模型, 针对该问题的灰色不确定性, 运用灰色关联分析模型对影响广东区域技术创新能力的因素进行了灰色关联度的定量分析, 描绘出影响(1999~2006年)广东经济增长(GDP)的区域技术创新能力因素的灰色关联图。结果显示, 该模型的有效性较好、可靠性较高、实用性较强。最后, 根据广东省区域技术创新能力测度的分析结果, 提出了提高广东省区域技术创新能力的对策建议。

**关 键 词:** 区域技术创新能力; 灰色关联分析模型; 广东省; 区域创新体系

**中图分类号:** F119.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0690(2012)09-1075-06

区域技术创新能力一般认为是在一个区域内, 以增强区域经济增长的原动力为目标, 充分发挥区域技术创新行为的积极性, 高校配置区域创新资源, 将创新构想转化为新产品、新工艺和新服务的综合能力。随着经济全球化的加快, 区域经济日益直接参与全球竞争, 区域技术创新能力逐渐成为区域经济增长和区域获得国际竞争优势的重要因素, 其强弱直接反映出—个地区的技术创新实力。因此, 区域技术创新能力是区域创新体系的中心问题, 技术创新从企业推延到区域、国家层面, 各个国家和地区展开了由技术创新引发的经济竞争、科技竞争、人才竞争、教育竞争的角逐, 形成了世界新的竞争格局。围绕区域技术创新体系的建立, 合理配置区域内的科技资源, 优化创新要素的结构和功能, 发展的技术创新能力, 可以为经济社会发展提供源源不断的动力和源泉, 因此, 区域技术创新能力的提升已成为各个国家和地区聚焦的重点。

对区域技术创新能力的研究源于20世纪90年代, 现已成为学术界研究的一个热点课题。区域技术创新能力是指一个地区将知识创新与技术发明转化为新产品、新工艺、新服务的一种综合创新能力<sup>[1]</sup>。广东省是中国经济最发达、文化最开放

的省份, 毗邻港澳, 也是经济和教育发展最不平衡的省份之一。本文拟对广东省区域技术创新能力进行定量评价和动态分析, 为探明制约广东省区域技术创新能力提高的瓶颈因素和优化广东省区域技术创新能力支撑环境提供科学定量的理论依据。

作为一个前沿性理论问题, 学术界对区域技术创新以及如何测度区域技术创新能力作了大量的研究工作。1912年, 美籍奥地利经济学家约瑟夫·熊彼特首次在其著作《经济发展理论》中提出了“技术创新”的概念, 并将其纳入了经济学体系中, 认为“技术创新”是新技术、新发明在商业中的首次应用, 是经济不断发展的动力<sup>[2]</sup>。英国卡迪夫大学的Cooke教授对区域技术创新的定义是由在地理上相互分工, 相互联系的企业、研究机构 and 高等院校等构成的区域性组织体系, 同时, 这种体系支持并产生技术创新<sup>[3]</sup>。

近年来, 国内外学者和有关机构相继开展了一系列区域创新评估体系研讨, 1957年英国经济学家索洛发表了著名的论文《技术进步与总生产函数》, 提出了一个较为科学的测定经济增长中技术进步贡献的方法<sup>[4]</sup>。Michael Fritsch 和 Grit Franke通过实证研究指出, 不同区域技术创新之间的明显差异与R&D活动的生产率有关, 与同区域

收稿日期: 2011-10-26; 修订日期: 2012-06-18

基金项目: 广东省软科学研究项目(2011B070300034)资助。

作者简介: 徐 辉(1963-), 男, 江西南康人, 博士, 教授, 主要从事区域技术创新研究。E-mail: gdsxyxuhui@126.com

内其它创新主体的R&D活动所产生的R&D溢出有关<sup>[9]</sup>。国内的研究多倾向于对各个区域的创新绩效进行评估和排序,对区域科技创新的研究侧重于国家及省际之间,忽略了对省级层面的区域整体科技发展水平的评估,因此,本文的研究对于提升省级层面的区域科技发展水平具有较重要的参考价值。国内学者对科技创新效率的研究方法主要有主成分分析法、聚类分析法、DEA法等<sup>[6-12]</sup>,这些方法要求较长的时间序列数据及巨大的信息量才能得到较好的分析效果,但实际数据的收集情况难以满足其要求,运用对纵向数据要求较低的灰色关联分析法更适合进行区域科技创新能力测度的研究。

## 1 区域技术创新能力形成机制概述

由于区域技术创新系统的主体有企业、政府、高校、中介组织等,都是具有一定存量和结构的群体人力资本组织。企业作为技术创新的实现主体,由一群具有专用人力资本的员工组成,并且通过教育培训、研究开发等方式加强对企业员工的人力资本投资,通过技术创新等方式获取高额利润,得到投资回报。高校和科研机构也是由具有特定的人力资本的个人组成,培养人的知识和技能,进行研究与开发,在人力资本的形成和投资中发挥重要作用。政府在进行教育、医疗卫生、保健等人力资本的公共投资起着极其重要的作用。中介组织等在知识和技术创新、扩散中起着纽带作用,各主体之间存在着人力资本的流动。人是进行知识和技术创新、扩散的最重要的主体。在技术创新的过程中,人力资本作为一种重要的生产要素,各种不完全同质的人力资本相互匹配、相互作用、相互学习创造出效益。人力资本的良性结合不仅能提高人力资本的生产效率,还能提高其他生产要素的边际生产率。区域技术创新环境是地区有利于技术创新特定的社会、文化习俗等因素的集合。技术创新的效果是在特定的制度因素下,人力资本与物质资本、环境资本优化配合、良性相互作用的结果。因此,企业、科研机构、大学和中介机构是创新系统的主体,这些部门的活动和相互作用决定着一个区域扩散知识和技术的能力,并影响着区域的创新能力。综上所述,技术创新研究领域研究问题的核心是区域技术创新能力的整体变化及形成动因<sup>[13]</sup>。

## 2 广东省区域技术创新能力测度指标体系构建

基于区域技术创新能力形成机制,对区域技术创新能力的测度是一个复杂的动态过程,需要建立一系列相辅相成的指标群,全面系统地评价区域技术创新能力的综合效益以及溢出效应,以便更好地指导资源优化配置。区域技术创新测度指标的设定应遵循以下4点原则:科学性、易操作性、动态性和创新性。广东省是中国经济最发达、文化最开放的省份,毗邻港澳,也是经济和教育发展最不平衡的省份之一。参考以往研究<sup>[14,15]</sup>,根据《广东科技统计年鉴》(2006)<sup>[16]</sup>及《广东统计年鉴》(1990~2006)<sup>[17]</sup>数据计算可知,1990~2006年广东省创新产出及转化与GDP变化趋势具有较高的关联度,但处于非平稳的状态。综上所述,广东省区域技术创新能力的特征为:第一是研发资金有效利用效率低,造成创新产出质量不高;第二是市场不能提供足够的激励,造成基础研究对经济增长的作用难以发挥;第三是创新转化能力与产出能力相背离,制约了R&D投入经济效益的发挥等方面。为此本文设立广东省区域技术创新能力测度指标体系(表1)。

## 3 灰色关联度分析模型建立

### 3.1 区域技术创新能力灰色关联分析概述

区域技术创新能力与区域经济绩效是一个复杂的灰色系统。灰色关联分析(Grey Relation Analysis, GRA)提供一个相对客观的测度指标权重测度方法,能最大限度地避免主观因素对于测度结果所造成的误差;与数理统计方法相比,对数据要求较低且计算量小,样本数目要求较少,易于编程实现。影响区域经济绩效的因素众多,不同因素可能与区域经济绩效之间存在某种典型分布,而另外一些因素与区域经济绩效之间可能根本不存在某种典型分布。人们在测度区域经济绩效时只能选取主要的测度指标来进行分析。无论是从区域经济运行数据的实际情况,还是从对区域经济绩效系统不确定性变化的分析来看,现有的研究和描述还未达到精确状态,这使得区域经济绩效系统具有典型的信息不完备的灰色性。灰色系统理论着重研究概率统计、模糊数学等难以解决的“小样本”、“贫信息”不确定性问题,对数据的要

表1 广东省区域技术创新能力测度指标体系

Table 1 Indicator to measure the regional technology innovation ability in Guangdong Province

一级指标	二级指标	单位
知识创新能力	能力独立研发机构R&D人员全时当量( $x_1$ )	人年
	独立研发机构科技经费额( $x_2$ )	万元
	高校科技经费额( $x_3$ )	万元
	高校R&D人员全时当量( $x_4$ )	人年
	每万人高校毕业生数( $x_5$ )	人/万人
	每万人公共图书馆数( $x_6$ )	个/万人
技术创新能力	科技经费占产品总销售收入比重( $x_7$ )	%
	内设科技机构的企业占全部企业比重( $x_8$ )	%
	科技人员占全部从业人员比重( $x_9$ )	%
	新产品开发项目数占科技项目数比重( $x_{10}$ )	%
	三种专利申请授权数( $x_{11}$ )	件
	技术改造经费占技术经费比重( $x_{12}$ )	%
	新产品销售收入占总产品销售收入比重( $x_{13}$ )	%
技术创新支撑环境优化能力	教育事业费占财政收入比重( $x_{14}$ )	%
	科技三项经费占财政收入比重( $x_{15}$ )	%
	地区人均GDP( $x_{16}$ )	元
	外商直接投资实际发生额占GDP比重( $x_{17}$ )	%
	每万人邮电业务量( $x_{18}$ )	万元/万人
技术创新资源配置能力	技术市场成交额占所在地区市场成交额比重( $x_{19}$ )	%
	高校科研经费中企业资金占比( $x_{20}$ )	%
	大中型工业企业科技经费中金融机构贷款占比( $x_{21}$ )	%
	每万人互联网用户数( $x_{22}$ )	人/万人

求可以是任意分布的。它对贫信息小样本系统有明显的理论分析优势,灰色关联分析法是按发展态势的相似或相异程度来衡量因素间关联程度,灰关联分析的关键是测算灰色系统关联因子集合中因素间灰关联程度。该方法实质上是关联系数的分析,优于经典的精确数学方法,考虑到灰色关联模型不局限于样本数量,描述的是动态变化过程,适用于研究区域技术创新对区域经济绩效的相关性。

灰色关联分析根据时间或空间序列数据进行曲线几何形状的相似比较来判断因素之间的关联程度。灰色系统分析方法对事物之间的变化情况进行定量描述,对事物的发展状态进行量的比较,以分析和确定因子间的影响程度或因子对主行为的贡献测度。如果两个因素在发展过程中相对变化态势一致性高,则两者的灰色关联度大;反之,灰色关联度就小。

3.2 灰色关联分析模型的建立

1) 关联系数与关联度

① 数据列的表示方式。作关联分析先要指定

参考的数据列。参考数据列 $x_0=[x_0(1),x_0(2),\cdots,x_0(n)]$ , $n$ 为参考数据列中数据个数,本文中 $n=8$ 。关联分析中被比较数列记为: $x_1=[x_1(1),x_1(2),\cdots,x_1(n)]$ , $x_2=[x_2(1),x_2(2),\cdots,x_2(n)]$ , $\cdots$ , $x_n=[x_n(1),x_n(2),\cdots,x_n(n)]$ 。

② 关联系数计算模型。关联性实质上是曲线间几何形状的差别,所以,将曲线间差值的大小,作为关联程度的衡量尺度。

对于一个参考数列 $x_0$ 有 $n$ 个比较数列 $x_1,x_2,\cdots,x_n$ 的情况,用下述关系式表示各比较数列曲线与参考曲线在各点(时刻)的差。

$$\zeta_i(k)=\frac{\min_k \min_i |x_0(k)-x_i(k)|+\rho \max_k \max_i |x_0(k)-x_i(k)|}{|x_0(k)-x_i(k)|+\rho \max_k \max_i |x_0(k)-x_i(k)|},$$
$$i=1,2,\cdots,n$$

式中, $x_i(k)$ 是第 $k$ 个时刻比较曲线 $x_i$ , $i=1,2,\cdots,n$ 与参考数据列 $x_0$ 的相对差值,这种形式的相对差值称为 $x_i$ , $i=1,2,\cdots,n$ 对 $x_0$ 在 $k$ 时刻的关联系数。 $r$ 为分辨系数,一般在0与1之间选取。

对参考数列 $x_0$ 和比较数列 $x_i$ , $i=1,2,\cdots,n$ 进行无量纲化处理。由于系统中各因素的物理意义不同,



导致数据的量纲也不一定相同,不便于比较,或在比较时难以得到正确的结论。在进行灰色关联度分析时,为便于分析并保证各因素具有等效性和同序性,应对原始数列进行处理,这里采用的是初值变化法,即各列除以本列第一个数,使之无量纲化。

## 2) 关联度计算

关联系数的值很多,信息过于分散,不便于比较,为此有必要将各个时刻关联系数集中为一个值,其平均值即为这种信息集中处理的一种方法。

关联度的一般表达式为:  $r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k)$ , 其中,  $r_i$  为比较数列  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$  对参考数列  $x_0$  的关联度<sup>[18]</sup>。

## 4 广东省区域技术创新能力测度模拟仿真

广东省资源和能源的匮乏,制约了传统生产要素对经济增长的作用,科技创新已经成为国家和地区经济发展的核心推动力。广东省作为一个经济大省,自改革开放以来,全省经济保持稳定较快增长,但省内出现区域经济发展差异,并呈扩大趋势。区域的科技创新能力是区域经济增长和竞争的重要因素。根据上述广东省区域创新能力测度指标体系,根据1999~2006年《广东统计年鉴》<sup>[17]</sup>对相关数据进行加工、整理,得到进行广东省区域技术创新能力综合测度的基础数据。

按上述模型对参考数列  $x_0$  (广东省1999~2006年国内生产总值GDP)和比较数列  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$  进行无量纲化处理得:

参考数列:  $x_0=(1, 1.161, 1.301, 1.460, 1.723, 2.039, 2.418, 2.828)$

比较数列:  $x_1=(1, 0.799, 0.585, 0.617, 0.619, 0.624, 0.579, 0.686)$ ; 同理可得  $x_2, x_3, x_4, \dots, x_{22}$ 。

基于MATLAB程序设计和计算机仿真计算<sup>[19]</sup>,得各比较数列相对于参考数列关联度值和灰色关联图。

根据广东省区域技术创新能力测度的模拟仿真计算结果可得,比较数列相对于参考数列关联度值和灰色关联图可得以下结论,比较数列(因素)  $x_{11}, x_{16}, x_5$  与参考数列  $x_0$  的关联度值的大小,排在前三位,分别为:0.963, 0.957和0.937,即它们与参考数列  $x_0$  的关联程度较高,其余的比较数列(因素)与参考数列  $x_0$  的关联度值的大小依次为:  $x_{15}, x_{18}, x_4, x_7, \dots, x_{22}$ 。由这些比较数列(因素)与参考数列  $x_0$  的关联度值的大小可绘出比较数列(因素)与参考数列  $x_0$  的灰色关联图(图1),从而较直观形象且定量地测度了影响广东省区域技术创新能力及其产出的各个因素的强弱,为提升广东省区域技术创新能力和优化其区域技术创新的支撑环境提供科学定量的理论依据。与实际比较结果表明,该模型的有效性较好、可靠性较高、实用性较强。

## 5 提高广东省区域技术创新能力的对策建议

通过上述有关广东省区域技术创新能力测度的灰色关联分析可知,影响广东省经济绩效的区域技术创新能力因素的强弱值和关联程度。广东省整体区域创新能力,从全国的角度来看,处于一个较高的水平<sup>[15]</sup>,但作为一个经济大省,与某些沿海省份相比还存在一定的差距,因此,大力提升区域技术创新能力,已成为广东省实现经济持续增长的关键。广东省要想增强自身的区域技术创新

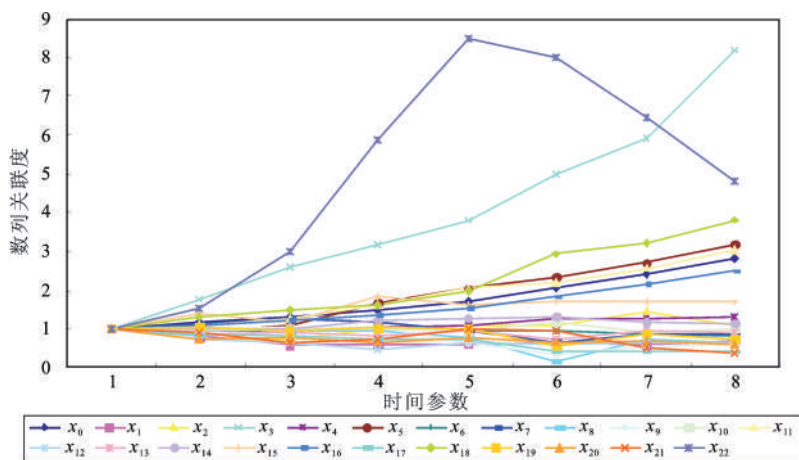


图1 比较数列与参考数列的灰色关联

Fig. 1 Grey relation analysis of comparison sequence and reference sequence

能力,必须合理地利用包括科技资源、经济资源、地理自然资源和文化资源等在内的一切可以利用的区域技术创新资源,充分发挥比较优势,科学制定技术跨越式发展战略,构建和不断完善以市场为导向,以企业为主体,以高等院校和科研院所为依托,以市场配置资源为基本途径,着眼于提高知识创新能力、技术创新能力与创新配置能力,优化创新宏观环境的创新体系,以加速推动广东省新知识、新技术的产生、流动、更新和转化。为此,提出以下几点对策建议:

#### 1) 充分利用珠三角地区的涓滴效应

广东省的经济发展区域差异大,珠三角地区发达,山区、东西两翼比较落后,其差异系数为0.77,高于全国平均的0.67<sup>[20]</sup>。“涓滴效应”(trickling-down effect)是指落后地区从与发达地区的相互交流中受益,从而加快其自身发展的正向效应。从目前广东省珠三角地区对其山区、东西两翼地域的经济影响来看,涓滴效应的作用正日益发挥着积极的影响。而且,2009年1月,国务院发布了《珠江三角洲地区改革发展规划纲要(2008~2020年)》的出台,为缩小珠三角地区与广东省其他落后地区差距提供有力的保证。

#### 2) 强化管理体制和激励机制创新,完善区域技术创新支撑体系

广东省在努力拓宽技术创新资金渠道的同时,更要注重科技管理和激励机制等方面的创新工作。目前很多科研机构游离于企业之外,与市场联系不够紧密。因此,要积极发展多种形式的产学研结合,通过企业与科研院校的强强合作,促进科技成果转化现实生产力,提升企业的核心竞争力。同时,通过健全科技服务体系,加强科技中介机构建设,为企业技术创新提供服务,逐步形成政府、企业、科研院所及市场四位一体的区域性技术创新支撑体系。

#### 3) 促进产业结构升级,提高各区域技术创新能力

产业结构调整是促进广东省各地区经济发展与平衡的重要举措,是提高经济增长质量的根本措施。大力调整产业结构,促进产业优化升级,提高区域技术创新能力和区域竞争力,形成区域竞争优势,逐步缩小广东省珠三角地区与广东省其他落后地区差距。而珠三角地区在实现以技术导向的产业结构升级的同时,将原有结构及资源导

向的产业适当循序转移,从而实现广东省珠三角地区与广东省其他落后地区之间技术的互补性和经济增长的可持续性。

#### 4) 提升知识创新能力,从源头为增强广东省区域技术创新能力提供保障

完善产学研合作机制,提高高校与科研机构的科技研发能力。当今世界各个国家和地区核心竞争力的塑造高度依赖于技术创新能力,而技术创新能力的提高又高度依赖于产学研合作,完善产学研合作机制是广东省企业求生存图发展的迫切要求。提升知识创新能力,为增强广东省区域技术创新能力提供保障。

#### 5) 提高企业R&D投入,并切实提高科技成果转化率

企业的研究开发(R&D)经费在国家或地区研究开发经费中的比重,是衡量创新主体的重要标志。在1999~2006年,广东省拥有专利成果212 283项,但真正实现成果转化与产业化的不到1/10<sup>[16]</sup>。在加大企业研发总量、鼓励技术创新的同时,必须注重科技转让和科技成果的运用,切实提高科技成果转化率,要实现这一目标,需要进一步加大企业研发经费投入,以提高企业技术创新对广东省经济增长的关联度<sup>[8]</sup>。

#### 6) 提高研发经费占销售收入比重与加强企业自主创新

在1999~2006年的8 a时间,企业科技活动研究与试验发展经费支出占销售收入的比重平均为1.487%<sup>[16]</sup>,但从整体上看,广东省企业研发机构少,企业自主创新能力较低。在技术创新方面无论与发达国家还是与发达省市和地区还有较大的差距。从企业技术创新与经济发展的灰色关联分析看,广东省区域技术创新对经济增长的拉动作用不够强劲。因此,广东省企业应重视技术创新能力的提升,尽快改变技术创新能力弱的状况。

#### 7) 优化企业R&D人员分布、素质提升,加强绩效考核

1978年3月邓小平同志就提出要设立企业科学研究机构。他强调,编制里面一定要有相当规模的科学研究机构,美国和日本的大企业,都有相当规模的科学研究机构。我们也要把科研队伍加强和扩大起来。1999~2006年科技活动人员占从业人员比重平均为4.125%,有科技机构的企业占全部企业比重平均为19.69%,每万人高校毕业生

数平均为12.43%<sup>[6]</sup>。目前,广东省企业R&D人员不足虽然得到改观,但对企业R&D人员素质提升重视不够,对企业R&D人员研发项目成果及转化考核不严,企业技术创新的作用的发挥受到科技成果转化能力的制约。因此,要优化企业R&D人员分布、素质提升,加强绩效考核,以提高企业技术创新对广东省经济增长的关联度。

## 参考文献:

- [1] 杨兴宪,刘毅,牛树海.区域创新系统研究的进展及展望[J].地理科学,2006,26(2):251~255.
- [2] 胡海峰,胡吉亚.区域技术创新评估文献综述[J].理论学刊,2011,(4):68~72.
- [3] Philip Cooke. Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy[J]. Industrial and Corporate Change, 2001, (4):945-974.
- [4] Solow R M. Technical change and the aggregate production function[J]. Review of Economics and Statistics, 1957, 39: 312-320.
- [5] Michael Fritsch, Grit Franke. Innovation, regional knowledge spillovers and R&D cooperation[J]. Research Policy, 2004, (33): 77-90.
- [6] 李晓钟,张小蒂.江浙区域技术创新效率比较分析[J].中国工业经济,2005,(7):57~64.
- [7] 罗亚非,李敦响.中国中部6省和京、沪、粤区域技术创新绩效比较研究[J].科技进步与对策,2006,(1):18~21.
- [8] 张宗益,周勇,钱灿,等.基于SFA模型的中国区域技术创新效率的实证研究[J].软科学,2006,(2):125~128.
- [9] 谢建国,周露昭.中国区域技术创新绩效——基于DEA的两阶段研究[J].学习与实践,2007,(6):29~34.
- [10] 林云,金祥荣.区域技术创新绩效的“马太效应”——基于中国30个省市面板数据分析[J].经济学家,2008,(3):78~85.
- [11] 范德成,唐小旭.中国各省市产学研结合技术创新的绩效评价[J].科学学与科学技术管理,2009,(1):66~70.
- [12] 吕姝望.中国西部地区技术创新绩效评价研究[J].内蒙古农业大学学报(社会科学版),2010,(3):76~71,80.
- [13] 徐辉.科技成果转化及其对经济增长效应研究[M].广州:中山大学出版社,2009.
- [14] 朱海就.区域创新能力评估的指标体系研究[J].科研管理,2004,(3):30~35.
- [15] 许崑,林海明.广东省区域创新能力动态分析——兼论区域创新能力评价指标体系的构建[J].广东商学院学报,2009,(4):75~80.
- [16] 彭启鹏,马宪民.广东科技统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2006.
- [17] 广东省统计局.广东统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1999~2006.
- [18] 刘思峰,党耀国,方志耕.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2004.
- [19] 李海涛,邓樱. MATLAB 程序设计教程[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [20] 财经国家周刊记者.超越城市体的梦想与现实[N/OL]. [2010-10-26]http://www.sina.com.cn.

## Grey Relational Analysis of Innovation Capability Measurement of Regional Technology in Guangdong Province

XU Hui, LIU Jun

(School of Business Management, Guangdong University of Business Studies, Guangzhou, Guangdong 510320, China)

**Abstract:** Innovation capability of regional technology is the central issue of the construction of a regional innovation system. Building an innovative region is the only way to enhance regional competitiveness and promote regional economic and social development. This article presents a measurement index system of innovation capability of regional technology. We have studied the mechanism of regional technology innovation capability and established the mathematical model. For the uncertainty of grey relation, the article does a quantitative analysis on the factors which can influence economic growth in Guangdong (GDP) using the grey relation analysis model, and describes grey correlations graph of innovation capability of regional technology in 1999-2006. The results show that the model is valid, reliable, and practical. Finally, based on the analysis, this study provides corresponding countermeasures for problem situations of the regional technological innovation capability in Guangdong. It describes a grey way of technology innovation to improve the economic performance of the Guangdong region.

**Key words:** regional technological innovation capability; grey relation analysis model; Guangdong Province; regional innovation system