

基于主成分分析和熵值法的高校科技创新能力评价

韩晓明,王金国,石照耀

(北京工业大学科学技术发展院,北京 100124)

摘要:高校科技创新能力是评价高校在国家创新系统中地位和作用的重要依据,其评价体系与方法亟待完善。结合主成分分析和熵值法,以 100 余所“211”及省部共建的高校为研究对象,构建了高校科技创新能力评价指标体系,并对研究对象在 2009 年至 2013 年的科技创新绩效进行评价。基于主成分分析和熵值法模型的分析能兼顾主观和客观因素,对评价高校科技创新能力具有有效性和科学性。另外,针对目前科技发展存在校际和地区间不平衡问题,提出在构建高校科技创新能力评价体系中应引入质量因子等新指标,建议高校科技创新能力评价应根据不同发展阶段采用分类评价指标体系。

关键词:主成分分析;熵值法;高校科技创新能力;评价指标体系

中图分类号:G311 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-4970(2015)02-0083-06

一、引言

高校科技创新能力是指高校创新能力系统充分运用各种人、财、物等资源,将知识、人才、科技、信息和先进的创新管理纳入高校科技创新系统,协调并促进高校基础科学研究和新兴学科发展的综合能力,已经成为衡量一个国家基础研究水平和高校竞争力的关键因素,是高校发展的根本动力。因此,研究高校科技创新能力及其评价方法,对推动高校发展具有重要的理论和现实意义。

目前,对高校科技创新能力评价的研究,主要集中在对评价指标体系的研究上。刘伟等^[1]从资源投入能力、科研实力、科技产出能力、科技投入产出效率和科技产业化能力方面,构建了高校科技创新能力评价指标体系。王章豹等^[2]从科技创新基础能力、科技创新投入能力和科技创新产出能力 3 个模块,构建了高校科技创新能力量化综合评价指标体系。梁燕等^[3]构建的指标体系包含创新效能和创新潜能两个部分。康美娟等^[4]将高校科技创新投入与产出分解为科技创新投入能力、科技创新支撑能力、可持续创新能力、科技创新产出能力、科技成果扩散能力、科技创新贡献率。庞诗^[5]、施星

国^[6]、孙燕^[7]、曾卫明等^[8]从高校的基础能力、投入能力、产出以及对外交流等方面,构建高校科技创新平台绩效评价指标体系。在对高校科技创新绩效测度时,多运用层次分析法^[9]、主成分分析法(以下简称 PCA 法)^[10]、灰色模糊理论^[11]、AHP/DEA^[12] 评价模型等主观赋权法确定指标权重进行实证分析。

本文采用将主成分分析和熵值法相结合、利用主观和客观分析相结合的方法,对评价指标体系进行降维与赋权,构建高校科技创新能力评价指标体系,并基于对 100 余所“211”和省部共建高校近 5 年的数据进行实证研究,把握科技创新绩效走向,建立有效的高校科技创新能力评价指标体系。

二、基于 PCA 和熵值法的高校科技创新能力评价模型

1. PCA 法构建指标体系

PCA 法是将多个相关变量化为少数几个不相关变量的降维多元统计方法。高校科技创新能力受众多因素影响,评价指标体系是一个多层次的综合体系,且各指标反映的信息有一定程度上的重叠。PCA 法在保留原来相关变量主要信息的同时,可以消除各个指标之间的相关影响,并根据累计贡献率

收稿日期:2014-10-18

基金项目:北京市教委人文社会科学研究项目(SM201310005015);北京工业大学教育管理研究基金(312000522104)

作者简介:韩晓明(1962—),女,吉林吉林人,助理研究员,从事科技管理与绩效评价研究。

遴选出重要成分进行量化分析。PCA 的基本原理如下:

(1) 定义原始矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, n 为评价样本个数, p 为初始评价指标数。

(2) 计算初始矩阵的相关系数矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pp} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中

$$r_{ij} = \frac{\sum_{s=1}^n (x_{si} - \bar{x}_i)(x_{sj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{s=1}^n (x_{si} - \bar{x}_i)^2 \sum_{s=1}^n (x_{sj} - \bar{x}_j)^2}} \quad (3)$$

表示原变量 x_i 与 x_j 的相关系数。

(3) 计算特征值: λ_i 且使得 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_p \geq 0$, 分别求出对应于特征值 λ_i 的特征向量 $e_i (i=1, 2, \cdots, p)$, 要求 $\|e_i\| = 1$, 即 $\sum_{j=1}^p e_{ij}^2 = 1$, 其中 e_{ij} 表示向量 e_i 的第 j 个分量。特征值在某种程度上可以看成是表示主成分影响力度大小的指标, 如果特征值小于 1, 说明该主成分的解释力度还不如直接引入一个原变量的平均解释力度大, 因此一般可以用特征值大于 1 作为纳入标准。

(4) 计算主成分贡献率 $\frac{\lambda_i}{\sum_{s=1}^p \lambda_s}$ 和累计贡献率

$$\frac{\sum_{s=1}^i \lambda_s}{\sum_{s=1}^p \lambda_s}, \text{ 其中 } i = 1, 2, \cdots, p. \text{ 一般取累计贡献率达}$$

85% ~ 95% 的特征值, $\lambda_1, \lambda_2, \cdots, \lambda_m$ 对应第 1、第 2、...、第 $m (m \leq p)$ 个主成分。

2. 熵值法为指标赋权并评价

本文将统计指标分为资源投入、研究成果、成果转化、技术交流 4 个部分。采用 PCA 对样本数据进行处理, 并选取 8 个主成分为主要评价依据。但是 PCA 并不考虑因变量和自变量之间的关系, 无法充分体现每个主成分的作用。为此, 本文采用熵值法确定每个成分的权重。

熵值可以度量系统无序程度和随机性, 用来判断某个指标的离散程度, 测度不同因素对综合评价的影响程度。熵值法弥补了 PCA 法在确定权重中

缺乏考虑因变量和自变量关系的不足, 在分析各指标对整体评价对象贡献率的基础上, 对指标体系进行赋权并进行综合评价。赋权及评价过程如下:

(1) 定义初始评价矩阵 $X = (x_{ij})_{rl}$, 即 $X =$

$$\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1l} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{r1} & \cdots & x_{rl} \end{bmatrix}, \text{ 其中, } r = 1, 2, 3 \cdots r \text{ 为待评价对象, } l$$

$= 1, 2, \cdots, l$ 为主成分评价指标, x_{ij} 表示第 i 个样本第 j 项主成分评价指标的数值。

(2) 计算 $x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$, 对各个主成分数据指标进行归一化处理, 消除量纲不同对评价结果的影响。

(3) 计算指标值的比 $P(x_{ij}) = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^r x'_{ij}}$, 其中 $0 <$

$P(x_{ij}) < 1$ 。

(4) 计算各指标的熵值 $h_j = -k \sum_{i=1}^l P(x_{ij}) \ln P(x_{ij})$, $j = 1, 2, \cdots, l$ 。其中, $P(x_{ij})$ 代表 x'_{ij} 对应的值, $k > 0$, 一般取 $k = \frac{1}{\ln l}$, $l \neq 1$, 从而 $0 \leq h_j \leq 1$ 。各评价对象的指标值 x_{ij} 间的差异程度越大, 表明该指标对整个指标体系的贡献率越大, 从而赋予的权重应该越大。

(5) 计算指标权重 $\omega_j = \frac{h_j}{\sum_{j=1}^l h_j}$, $j = 1, 2, \cdots, l$, 反映该评价指标对总体绩效影响程度的大小。

(6) 定义综合评价值 $U = \sum_{i=1}^l 100p(x_{ij})\omega_j$ 。其中, l 为主成分指标个数, ω_j 为第 j 个指标的权重。 U 值越大, 表示该高校的科技创新能力越高。

三、建立高校科技创新能力评价指标体系

1. 样本选择

本文利用 100 余所“211”及省部共建高校 2009—2012 年的统计数据, 对高校科技创新能力进行实证检验, 并以 2013 年数据为例, 验证本文提出的评价方法的合理性和科学性(数据来源:《2009—2013 年高等学校科技统计资料汇编》, SooPAT 专利检索平台)。

2. 基于 PCA 法构建评价指标体系

(1) 主成分划分

借鉴现有研究工作中的高校科技创新能力评价指标体系, 本文从资源投入、研究成果、成果转化和技术交流 4 个方面, 建立初始高校科技创新能力评价指标体系, 如表 1 所示。

表 1 高校科技创新能力初始评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	
高校 科技 创新 绩效	资源投入 A	人力投入 A ₁	教学与科研人员数 A ₁₁
			科学家与工程师所占教学与科研人员比例 A ₁₂
			高级职称所占教学与科研人员比例 A ₁₃
			研究与开发人员人年 A ₁₄
			科学家与工程师所占研究与开发人员比例 A ₁₅
			高级职称所占研究与开发人员比例 A ₁₆
	财力投入 A ₂	科研经费总拨入 A ₂₁	
		人均经费拨入 A ₂₂	
		总经费支出 A ₂₃	
		人均经费支出 A ₂₄	
		科技课题数 A ₂₅	
	论文著作 B ₁	专著数量 B ₁₁	
		专著字数 B ₁₂	
		学术论文篇数 B ₁₃	
		国外及全国性刊物上论文发表篇数 B ₁₄	
		国外论文占全部论文比例 B ₁₅	
		每 100 万元产出论文数 B ₁₆	
	成果项数 B ₂	鉴定成果数 B ₂₁	
		成果授奖数 B ₂₂	
		国家级奖比例 B ₂₃	
	专利 B ₃	发明专利授权数 B ₃₁	
		发明专利占全部专利授权比例 B ₃₂	
		每 100 万元经费产出发明专利授权数 B ₃₃	
	成果转化 C	技术转让 C ₁	签订合同数 C ₁₁
当年实际收入 C ₁₂			
人均实际收入 C ₁₃			
技术交流 D	合作研究 D ₁	派遣人次 D ₁₁	
		接收人次 D ₁₂	
	国际学术会议 D ₂	出席人员数 D ₂₁	
		交流论文数 D ₂₂	
	特邀报告数 D ₂₃		
	主办次数 D ₂₄		

利用 PCA 法对初始评价指标体系进行处理,提取主成分对应的特征值大于 1 的前 8 个主成分,得到旋转成分矩阵,见表 2。

根据每个成分对 28 个指标的贡献度大小,将 8 个成分分别命名为科技人员总投入、平均经费拨入与支出、转让收入与签订合同数、“科学家与工程师所占教学和科研人员比例”与“研究与开发人员”比例、发明专利数与每 100 万元经费产出发明专利授权数、国外论文占全部论文比例、人均论文篇数和人均专著数量。

(2) 高校科技创新能力评价指标体系构建

根据 PCA 得到的 8 个主成分,构建高校科技创新能力评价指标体系,包括资源投入、成果产出、成果转化 3 个一级指标,并细分出人力投入、财力投入、论文著作、专利、技术转让 5 个二级指标,8 个三级指标。该指标体系消除了原始指标体系中各个指标的相关性,能够更加客观地对高校科技创新能力进行评价,评价指标体系具体见表 3。

(3) 基于熵值法的指标体系赋权

根据熵值法计算该指标体系的三级指标权重,并逐层线性相加得到二级指标权重和一级指标权重,各个指标的权重结果见表 4。

从表 4 可知:各指标对高校科技创新能力评价的贡献度不同。根据测算结果,资源投入指标权重为 0.37,是影响高校科技创新能力的比较重要的因素,其中人力投入在资源投入中所占权重最大,可见人力投入的提升更能提高高校科技的创新能力。经费投入在一定程度上能促进科技创新能力的发展,但要和相关管理体制、激励机制配套,避免集中过量投入引起经费低效重复投入或经费腐败乱象。研究成果指标权重为 0.50,是影响高校科技创新能力最重要的因素,是高校知识创新能力的体现,其中论文著作权重为 0.38,折射出近年高校科技评价的学术导向。专利的权重相对较小,说明目前专利产出相对较弱,但是专利数量是高校科技创新能力的体现,对科技创新能力有重要影响,需继续扶持促进知识产权发展。技术转让的权重较小,仅为 0.13,说明该项指标的提升空间较大,也反映了目前技术转让效果较差,严重影响了高校科技创新能力的发挥,因此成果转化是提升高校科技创新能力的抓手、突破口、切入口。同时从 PCA 来看,论文、专利数量的权重大,成果转化所占比重小,这种现象已经不适应国家大环境。十八大提出了提高成果转化能力是科技创新的关键,《教育部关于深化高等学校科

表 2 因子旋转后得到的成分矩阵

因子	旋转矩阵成分							
	1	2	3	4	5	6	7	8
高级工程师所占教学与科研人员比例 A_{13}	.968	.032	.088	-.007	-.012	.078	-.066	-.109
科学家与工程师合计人数 A_{12}	.959	-.072	.021	-.067	-.008	-.007	-.139	-.119
教学与科研人员合计人数 A_{11}	.956	-.076	.017	-.107	-.013	-.012	-.137	-.110
学术论文篇数合计 B_{13}	.898	.183	.169	-.093	-.032	.013	.208	-.002
研究与开发人员合计人数 A_{14}	.895	.005	.114	-.035	-.089	.053	-.231	-.015
成果授奖数 B_{22}	.820	.213	.236	.101	.033	-.054	-.006	-.062
专著数量(部) B_{11}	.793	.013	.122	-.095	-.090	.001	-.076	.428
当年科技经费总支出 A_{23}	.761	.451	.282	-.038	-.041	.045	.110	-.072
当年科技经费总拨入 A_{21}	.750	.485	.345	-.021	-.050	.017	.051	-.075
当年人均经费拨入(千元/人) A_{22}	-.003	.922	.153	.090	-.066	.046	.115	.010
当年人均经费支出 A_{24}	.010	.895	.142	.098	-.074	.123	.217	.036
平均科技课题经费拨入 A_{25}	.261	.746	.227	.104	-.029	.023	-.052	-.160
国家级奖的比例 B_{23}	.138	.577	-.083	-.240	.027	.158	-.087	.134
人均技术转让收入 D_{21}	.057	.170	.945	.022	.025	.054	-.041	-.027
当年技术转让实际收入(千元) C_{12}	.276	.115	.916	.018	-.016	-.018	-.034	.047
签订合同数(项) C_{11}	.304	.089	.876	-.079	.079	.043	.027	-.002
科学家与工程师占教学和科研人员比例 A_{12}	-.117	.078	.003	.834	.095	.139	.020	.102
科学家与工程师占研究与开发人员比例 A_{15}	-.035	.030	-.002	.795	-.018	-.150	.197	.052
鉴定成果数(项) B_{21}	.406	-.083	-.092	.441	-.044	.075	-.272	-.370
发明专利占全部专利授权比例 B_{32}	.121	.046	.081	-.131	-.791	.295	.232	-.031
每 100 万元经费产出发明专利授权数 D_{11}	-.105	-.145	.134	-.037	.790	.161	.325	-.043
发明专利授权数 B_{31}	.472	.359	.385	.010	.499	.061	.281	-.162
国外论文占全部论文比例 B_{15}	.044	.131	.055	-.031	-.116	.854	.126	-.021
每 100 万元经费产出论文数 D_{12}	-.155	-.511	-.012	-.083	-.168	-.578	.344	-.080
高级职称占教学与科研人员比例 A_{13}	-.319	.393	.031	.400	.004	.456	.333	.268
人均论文篇数 B_{14}	.004	.552	.049	.123	-.025	.041	.603	.128
高级职称占研究与开发人员比例 A_{16}	-.251	.052	-.141	.322	.183	.110	.560	-.074
人均专著数量 B_{12}	-.119	.027	-.025	.141	-.030	.037	-.005	.913

注:提取方法:PCA。旋转法:具有 Kaiser 标准化的正交旋转法,旋转在 12 次迭代后收敛。

表 3 基于主成分的高校科技创新能力评价指标体系

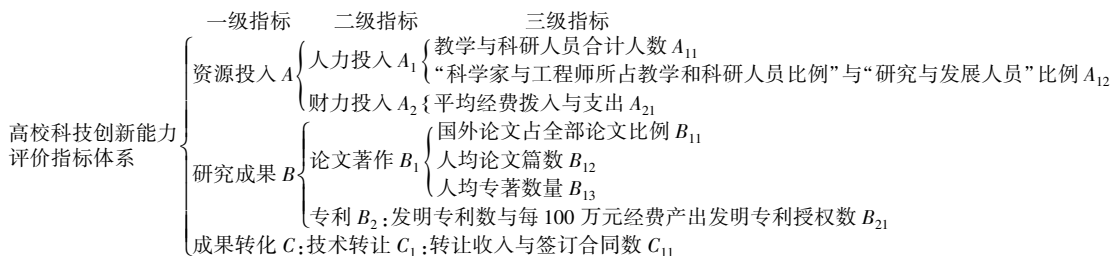


表 4 基于熵值法的各成分赋权

一级指标	一级权重	二级指标	二级权重	三级指标	三级权重
资源投入 A	0.37	人力投入 A_1	0.25	科技人员总投入 A_{11}	0.12
				科学家与工程师所占教学和科研人员比例与研究与开发人员比例 A_{12}	0.13
		财力投入 A_2	0.12	平均经费拨入与支出 A_{21}	0.12
研究成果 B	0.50	论文著作 B_1	0.38	国外论文占全部论文比例 B_{11}	0.12
				人均论文篇数 B_{12}	0.14
				人均专著数量 B_{13}	0.12
成果转化 C	0.13	专利 B_2	0.12	发明专利数与每 100 万元经费产出发明专利授权数 B_{21}	0.12
				技术转让 C_1	0.13

技评价改革的意见》(教技[2013]3号)文件中“更加强调科研成果转化应用、技术转移推广、科学普及等科技产出在评价中的作用”。

四、高校科技创新能力评价

根据 PCA 与熵值法计算 100 余所“211”及省部

共建高校的2009—2013年科技创新绩效U值平均值,从整体情况、学校隶属、学校类型和学校所属地区4个方面分析高校2009—2013年的科技创新能力发展的总体趋势。

1. 按整体情况分析高校科技创新能力

由图1可知,100余所“211”及省部共建高校的2009—2013年科技创新绩效均值均达到0.9以上,特别是在2009年,高校科技创新绩效均值达到0.95。表明随着我国“科教兴国”战略的实施以及政府对科研投入力度的加大,高校的科研力量有了显著增强,科研产出成果增加,成果转化效率也得到一定的提高。但科技创新发展到一定规模的综合大学或工科大学,显示出创新能力持续稳定且呈些微波动。而科研规模处于发展阶段中的地方高校,因地方特色的发挥、地方政府投入保护支持,成果产出数量上升,其创新能力呈现递增的趋势。2011年是“十二五”的第一年,成果产出少。2012年投入专项经费高,所以在曲线中2012年都出现小峰值。

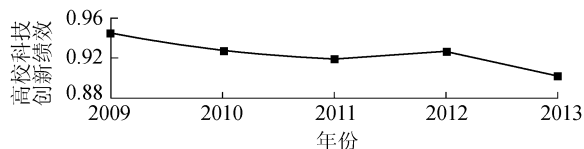


图1 按整体情况分析高校科技创新绩效

2. 按高校隶属类型分析高校科技创新能力

按高校隶属类型分为部属高校和地方高校,分析部属高校和地方高校5年来的科技创新绩效。分析发现,部属高校科技创新绩效均值高达1~1.2,处于较高水平;地方高校由于科研投入相对较少,以及科研规模小、成果转化效率低等原因,科技创新均值在0.4~0.6,远远低于部属高校。但从总体趋势上看,部属高校出现绩效下滑的趋势,而地方高校的科技创新绩效在稳步提升,两者之间的差距在逐步缩小。一方面说明部属高校科技创新能力进入稳定发展阶段,并已从追求科研数量向科研水平和科研质量提高的方向转变;另一方面说明地方高校还处于数量积累的快速发​​展期。部属高校和地方高校处于不同的发展阶段,并呈现出融合发展的态势(图2)。

高校长期以来形成的以统一、量化为特征的科技统计指标体系,及基于该指标体系的科技评价机制,已不能满足质量优先和创新驱动发展的时代要求,高校科技评价体系必须改革,支撑评价体系的科技统计指标需要增加质量因子、层次因子,根据高校发展不同阶段实行分类评价。

3. 按高校类型分析高校科技创新能力

按照高校类型进行分析,工科院校、综合院校和

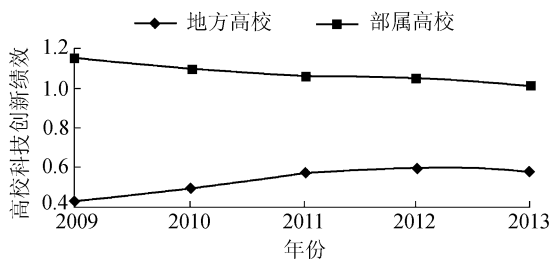


图2 按高校隶属类型分析高校科技创新绩效

农林院校科技创新绩效均值高于0.8,处于较高水平,其中工科院校科技创新能力居于首位,综合类院校次于工科院校,同样显示出科技创新能力的优势。师范院校、医药院校和传媒类等其他院校的科技创新绩效均值较低。工科院校,综合类院校和农林院校5年内发展相对平稳,师范院校、医药院校和传媒类等其他院校呈现逐步上升趋势(图3)。高校科技创新能力应该包括自然科学的科技创新、人文社科的科技创新两方面。由于统计指标数据采集的是高校自然科学方面的数据,会出现工科院校自然科学的科技创新能力大于综合大学、师范大学、政法类高校的现象。说明在对综合大学、师范大学等评价中,社科权重不容忽视。

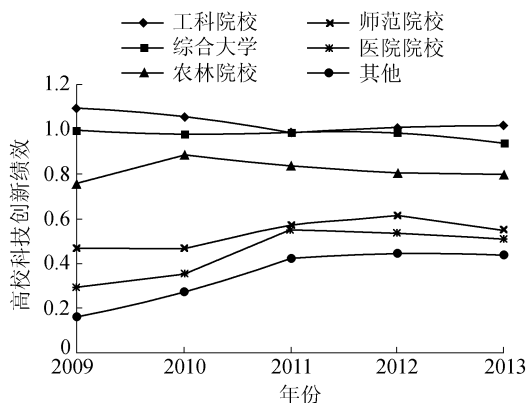


图3 按高校类型分析高校科技创新绩效

4. 按地区分析高校科技创新能力

鉴于上海、北京高校集中且数量多,将上海和北京作为独立区域与其他地区比较。

对高校按照地区进行分析,上海地区高校科技创新绩效均值高达1.1~1.6,远高于其他地区,处于较高水平,但近几年有下降趋势。紧随其后的是北京地区,其高校科技创新绩效均值达到1~1.1。这两个地区高校科技创新绩效高于其他地区,一方面是由于高校数量较多,另一方面由于上海、北京作为高度发展的国际化都市,社会经济发展水平总体比较高,科技资源相对丰富,科技规模相对较大,科技投入相对较多。其他地区,例如华东、东北、华南、西部、华北地区等,高校科技创新绩效均值在0.6~1之间,其中华北地区高校尽管在2009年创新绩效

均值最低,但近几年呈现逐步上升趋势,与其他地区的差距在缩小。整体来说,地区间差距逐年缩小,地区间高校科技创新能力协调发展(图4)。

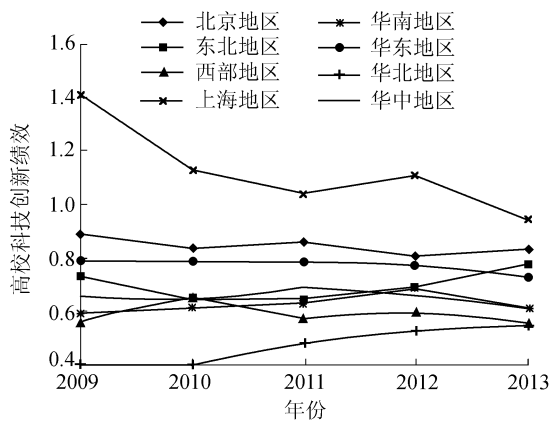


图4 按高校所处地区分析高校科技创新绩效

五、结语

本文采用PCA和熵值法相结合的方法构建了高校科技创新能力评价指标体系,并以100余所“211”及省部共建的高校为研究对象,基于各校2009—2013年近5年科技投入产出的最新数据,对高校科技创新绩效进行了综合评价。

分析结果显示,211及省部共建的部属高校,以及经济发达地区高校的科技创新能力整体水平高,但近5年发展滞缓,甚至呈现下滑趋势。高校科技规模发展到一定程度后,经费投入和成果产出数量也不像初期那样呈现明显的正向增长,而是进入一个相对稳定期,成果产出出现沉淀。处于稳定期的高校以质量为导向,思考在同样成果数量的前提下,如何产生质的飞跃,而现行以统一、量化为前提的科技评价指标体系已不能完全、真实地反映这种质的内涵。另外,科技投入产出结构优化配置不够,高校经费投入单一,经费来源以政府资金为主导,陷入投入愈多、产出效率愈低的困境^[13]。此外,科技管理水平、机制体制带来的限制加重,成果评价主要表现为论文、专利、获奖、学术交流等,分类评价实施不到位,对科技成果转化激励不足^[14]。多种因素使得成果转化效率低。要汲取美国高校的成功经验,创新我国高校参与产学研合作的模式和方法,建设研究型、科技型大学,营造利于产学研合作的良性运行机制和氛围^[15]。

为了适应不同类型、不同层次高校科技创新能力评价的需要,我们将进一步研究和探讨引入质量层次因子、服务效益因子、特色创新因子、人文社科创新因子、人才培养因子、协同创新因子等高校科技创新能力评价指标体系,并以一所大学或一类大学

为样本,探索多元因子评价体系的实证分析。

参考文献:

- [1] 刘伟,曹建国,郑林昌,等.基于主成分分析的中国高校科技创新能力评价[J].研究与发展管理,2010(6):121-127.
- [2] 王章豹,徐枫巍.高校科技创新能力综合评价:原则、指标、模型与方法[J].中国科技论坛,2005(2):55-59.
- [3] 梁燕,林玉伟,李相银.高校科技创新能力评价指标体系初探[J].技术与创新管理,2010(4):377-380.
- [4] 康美娟,冯英娟,李刚.高等学校科技创新能力评价指标体系构建研究[J].长春理工大学学报:社会科学版,2009(6):957-958.
- [5] 庞诗,何晋秋.地方高校科技创新能力评价指标体系的初步构建[J].中国建设教育,2006(10):36-39.
- [6] 施星国,张建华,仲伟俊.区域高校科技创新能力的评价研究[J].研究与发展管理,2009(4):106-111.
- [7] 孙燕,杨健安,潘鹏飞,等.高校科技创新能力评价指标体系研究[J].研究与发展管理,2011(3):125-129.
- [8] 曾卫明,朱晓霞.基于AHP的高校科技创新团队创新能力评价研究[J].科技进步与对策,2009(19):187-190.
- [9] 包含丽,郑伟,韦小青.基于AHP和TOPSIS的高校科研团队绩效评价研究[J].科技管理研究,2012(10):114-117.
- [10] 杜俊慧,王文寅,苏贵影.基于主成分分析的山西高校科技创新能力评价[J].经济问题,2013(7):111-114.
- [11] 朱永跃,马志强,陈永清.基于BSC和灰色模糊理论的高校科技创新团队绩效评价[J].科技管理研究,2009(12):431-433.
- [12] 蓝祥龙,谢南斌.基于AHP/DEA的高校科技创新能力评价指标体系研究[J].江西师范大学学报:哲学社会科学版,2011,43(1):114-120.
- [13] 刘丽,顾晓燕.知识产权贸易与我国自主创新能力的提升:基于中国经济数据的实证分析[J].经济问题,2014(7):27-30.
- [14] 许玉明,柯昌波,袁伟.市场化配置资源的科技体制改革研究[J].西部论坛,2014,24(4):44-49.
- [15] 李兆友.美国高校参与产学研合作的基本经验及对我国的启示[J].社会科学家,2014(4):4-8.

