

基于耦合协同模型的国内高校 协同创新体系实证研究

杨明欣,冯磊

(河北科技大学 经济管理学院,河北省 石家庄 050018)

摘要:高校学术水平很大程度上取决于科研能力,研究科研绩效对科研发展有着重要意义。引入协同学中的耦合协调度模型对高校协同创新体系的协同效益进行评估。首先,通过高校协同创新体系的演化模型,推演出系统关键变量——“成果”序参量;其次,围绕序参量构建了评价指标体系;最后,结合耦合协调度模型和 AHP 方法计算出系统以及子系统之间的协同度,形成一套完整的评价体系,并以教育部高教司编写的《高等学校科技统计资料汇编》2013—2019 年 28 个省市高校数据为来源,对各区域的校政企三方的协同情况进行实证分析,研究结果对国内高校协同创新的评价体系具有指导性借鉴意义。

关键词:高校协同创新体系;序参量;耦合协同模型;AHP

中图分类号:G644.4

文献标志码:A

文章编号:1674-5884(2022)05-0074-10

随着科学研究的不断探索,学术界多学科交叉、理论深入、边界模糊的特点日趋明显,过去“单打独斗”的模式不再适应科研发展的需求,表现有工作量大、效率低、难有突出成果。因此,科研工作者开始向多元化团队协作的模式转变,逐渐形成以高校为“源点”的校政协同、校企协同以及校政企三方协同的创新体系^[1]。

2018 年《国务院关于优化科研管理提升科研绩效若干措施的通知》(国发[2018]25 号)的发布,有效推动科研绩效的发展。同时目前新模式的学术团队通过资源共享、能力互补优势,形成“1+1>2”的协同效应,极大地促进了我国科研事业的发展。然而,如何衡量科研创新体系的协同效果一直都是难题。基于此背景,本文运用合理的科研绩效理论,对协同创新体系评估进行研究,对比协作差异,找出存在的问题,为区域提高科研水平提供可靠的依据。

1 绩效研究现状

针对科研绩效评价已有的深入研究,目前运用较为广泛的科研绩效评价方法有层次分析法(AHP)、模糊综合评价(fuzzy)、数据包络分析(DEA)、Malmquist 指数等方法;现有研究按着评价对象可分为四类:个体高校案例研究、教育部直属高校研究、区域性地方高校研究、协同创新中心研究;主要的研究可以分为基于投入-产出视角或者成果视角^[1-5],基于管理导向的研究视角^[6-9];基于评级指标体系或者构建评价理论模型视角^[10-11]。其中基于投入-产出视角或者成果视角的如王忠等^[2]、陈雅琳等^[3]、赵庆国等^[4]都选择 DEA-Malmquist 指数结合的方法。从投入-产出角度,分别对 40 所教育部直属、64 所教育部直属、区域地方高校进行绩效评价,并提出建议;廖帅等针对区域整体的科研质量问题,选用分类 DEA 模型测度 31 个省市自治区的高校科研效率水平,提出了建立人才激励机制、强化产学研合

收稿日期:2021-11-21

基金项目:河北省高等教育教学改革研究与实践项目(2020GJJG441);河北省高等教育教学改革研究与实践项目(2019GJJG188)

作者简介:杨明欣(1974—),女,河北石家庄人,教授,博士,主要从事科研绩效、地方工科院校人才培养研究。

作,建设科技成果中试与产业化载体的可行手段^[5]。卢一墨通过建立财务的评级指标体系,采用 AHP-fuzzy 相结合的方法,完成了高校绩效评价,以财务反映管理情况,并以 S 学院作为案例,为科研绩效提供了思路^[7]。蒋兴华等采用模糊综合评价法从创新增效、机制改革、团队建设三方面对高校协同创新中心进行绩效研究,为绩效评价提供了方案^[8]。李永周等分析了创新人才对高校协同创新网络嵌入机理,从结构、关系、认知嵌入三方面构建了模糊综合评价模型对 22 个中心进行协同创新绩效评价,为科研绩效提供了新思路^[10]。Xu 针对国内“双一流”大学的科研绩效问题,提出了一种基于经济学理论和层次分析法的新型评价模型的理论框架,得出绩效、投入和产出排名之间不存在一致性,大学的排名、与科研效率并不统一^[11]。

相比与国内针对地方院校、省属高校、教育部直属高校的科研创新体系研究,国外学者集中在区域科研创新的评价问题^[12-15]、科研体系评价的有效性^[16-17]、科研创新体系的合作影响程度问题^[18-20]。Aparna Basu、Andrea Bonaccorsi 通过多维的“质量-数量”综合指数分别对印度、欧洲的大范围区域进行科研绩效评估^[12-13]。针对荷兰的大学研究产出高而缺乏成果转换问题,Tsvi Vinig、David Lips 提出了一种利用元数据分析来衡量大学技术转化的方法,对通过专利、协议和衍生产品来量化的实际技术转让项目的数据进行了实证研究^[14]。Abramo 等首次将产出-投入指标 FSS 用于评价非意大利的教授和大学的研究成果,分析了挪威、意大利在科研方面的优势异同^[15]。Armando Calabrese 等提出一种基于幂律的知识绩效指标规模相关偏差方法,探讨了如何减少由大学规模导致的规模相关偏差对评价的影响^[16]。Giovanni Abramo 等以意大利的大学为例,使用文献计量学方法对研究绩效进行评估,分析了大学的科研生产力和顶尖研究者指标之间的潜在关系^[17]。Yangson Kim 等通过发文和引文考察了大学-政府-行业之间合作的主动性,探索积极性对协同创新体系的正面影响^[18]。L Aldieri 等为研究合作对学术机构科研绩效的影响程度,以俄罗斯 241 所大学 2015—2016 年不同来源的数据为依据,建立了一个非重叠生成模型,检验联邦

区、外部科研合作对机构科研质量的影响^[19]。Lara 等采用统计学方法,比较了企业与大学、企业与科研机构的绩效,并将这两组与其他类型合作模式比较,研究绩效,并得到校企、研企前两种形式的合作形式差异不大且更有效^[20]。

综上所述,目前对于科研绩效问题,无论是在方法、评价主体类别,还是在建立指标体系的维度,学者们都有了很深入的研究,但是很少研究是针对高校协同创新体系合作模式之间的协同效果展开。基于此本文引入协同学中的“序参量”,在分析高校协同创新体系的演化过程基础上,推导影响高校、政府、企业三系统的关键变量,构建“序参量”指标体系,并通过耦合协调度模型计算各省市政府、企业、高校两两之间以及三者之间的协同度,从而量化这种合作模式的协同效果,为解决协同创新的绩效评价提供方案。

以下章节研究内容包括:高校协同创新体系的内涵;高校协同创新体系的演化过程;高校协同创新体系协同效果的评价;高校协同创新体系协同效果实证分析。

2 高校协同创新体系及演化

2.1 高校协同创新体系

高校协同创新体系是指以高校科研管理为主体,高校、政府、企业三者通过自组织活动,把科研体系中无规则、无秩序的要素通过各子系统间的协同连接在一起,形成的综合系统。

高校科研在协同创新体系中,通常是高校、政府、企业三者存在合作关系,为共同的研究方向努力钻研,这称为一个合作单元,协同创新体系是由若干个单元共同组成的。起初各个领域的研究错综复杂,呈现一种无序的状态,在某些单元进行研究,发表出突破性、创新性学术成果或研发出新的技术,就会引领学术领域的更深入研究,以及更多学者涌现。统一将“成果”作为序参数,这些学术成果引发的效应起到支配作用,这个过程没有统一的命令、指令,属完全自发过程,各高校学者的研究形成涨落,研究过程的突破成果就是相变。为证明上述分析过程,高校协同创新体系的演化模型推演过程如下文。

2.2 高校协同创新体系的演化模型

在高校协同创新体系非平衡系统中,包含高

校、政府、企业三个子系统,每个子系统内有 n 个变化参量,分别用 n 维矢量 $\vec{m}, \vec{s}, \vec{l}$ 表示,整个系统参量 $\vec{q}$ 示如下^[21]:

$$\vec{q} = \{\vec{m}, \vec{s}, \vec{l}\} = \{m_1, m_2, \dots, m_n, s_{n+1}, s_{n+2}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, l_{2n+2}, \dots, l_{3n}\} \quad (1)$$

一般地, $\vec{q}$ 的运动形式可用广义方程 Langvin 方程表示:

$$q_j = k_j(\vec{m}) + \xi_j(t) + k_j(\vec{s}) + \psi_j(t) + k_j(\vec{l}) + \eta_j(t) \quad (2)$$

其中 $\xi_j(t), \psi_j(t), \eta_j(t)$ 是由高校、政府、企业三个子系统各种微扰引起的随机涨落。 $K_j(\vec{m}) = k_j(m_1, m_2, \dots, m_n), K_j(\vec{s}) = k_j(s_{n+1}, s_{n+2}, \dots, s_{2n}), K_j(\vec{l}) = k_j(l_{2n+1}, l_{2n+2}, \dots, l_{3n})$ 表示三个子系统内各种参量的非线性泛函。略去 $\xi_j(t), \psi_j(t), \eta_j(t)$ 可表示为:

$$q = \sum_{k=1}^n a_{jk} m_k + f_i(\vec{m}) + b_{jk} s_k + f_i(\vec{s}) + c_{jk} l_k + f_i(\vec{l}) \quad (3)$$

其中 $f_i(\vec{m}) + f_i(\vec{s}) + f_i(\vec{l})$ 为 $\vec{q}$ 一组非线性函数,由于此时系统的定态点是稳定的,其线性项系数矩阵的本征值具有负实部,故总可以选取适当的新坐标即存在某种线性变换,使该矩阵对角化,即有:

$$\begin{cases} m_1 = -\alpha_1 m_1 + v_1(m_1, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \\ \vdots \\ m_n = -\alpha_n m_n + v_n(m_1, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \\ s_{n+1} = -\beta_1 s_{n+1} + w_1(m_1, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \\ \vdots \\ s_{2n} = -\beta_n s_{2n} + w_n(m_1, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \\ l_{2n+1} = -\varphi_1 l_{2n+1} + z_1(m_1, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \\ \vdots \\ l_{3n+1} = -\varphi_n l_{3n+1} + z_n(m_1, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \end{cases} \quad (4)$$

为了书写方便,上式中新坐标仍用 $m_1, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}$ 表示, $\{\alpha_i, \beta_i, \varphi_i\}$ 为正系数, $\{v_i(\vec{q}), w_i(\vec{q}), z_i(\vec{q})\}$ 为 $\vec{q}$ 的另一组非线性函数。

对一般的非线性相变系统,各系统变量中均包含着序参量 u , 整个系统的演化由 u 主宰,其余变量都将受到的役使,不失一般性,令 $u = m_j = 1$ 。

则式可写为:

$$\begin{cases} u = -\alpha_1 u + v_1(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \\ \vdots \\ m_n = -\alpha_n m_n + v_n(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \\ s_{n+1} = -\beta_1 s_{n+1} + w_1(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \\ \vdots \\ s_{2n} = -\beta_n s_{2n} + w_n(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \\ l_{2n+1} = -\varphi_1 l_{2n+1} + z_1(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \\ \vdots \\ l_{3n+1} = -\varphi_n l_{3n+1} + z_n(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) \end{cases} \quad (5)$$

当系统趋于非平衡相变的临界点时,由协同学原理可知 $\alpha_1 \rightarrow 0$, 其余的 $\alpha_j > 0 (j = 2, \dots, n)$ 、 $\beta_i, \varphi_i > 0 (i = 1, 2, \dots, n)$ 且有上限,根据役使原理,令

$$m_2 = \dots, m_n = s_{n+1} = \dots, s_{2n} = l_{2n+1} = \dots, l_{3n} = 0$$

由方程组可得:

$$\begin{cases} -\alpha_2 m_2 + v_2(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) = 0 \\ \vdots \\ -\alpha_n m_n + v_n(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) = 0 \\ -\beta_1 s_{n+1} + w_1(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) = 0 \\ \vdots \\ -\beta_n s_{2n} + w_n(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) = 0 \\ -\varphi_1 l_{2n+1} + z_1(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) = 0 \\ \vdots \\ -\varphi_n l_{3n+1} + z_n(u, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

对上式方程连立求解可得

$$\begin{cases} m_2 = \mu_2(u) & s_{n+1} = \mu_{n+1}(u) & l_{2n+1} = \mu_{2n+1}(u) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ m_n = \mu_n(u) & s_{2n} = \mu_{2n}(u) & l_{3n} = \mu_{3n}(u) \end{cases} \quad (7)$$

上式表明变量 $m_2, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}$ 都是受到序参量 u 所支配。代入式中的第一式可得系统的序参量方程

$$u = -\alpha_1 u + v_1(u, m_2, \dots, m_n, s_{n+1}, \dots, s_{2n}, l_{2n+1}, \dots, l_{3n}) = -\alpha_1 u + v_1[u, \mu_2(u), \dots, \mu_n(u), \mu_{n+1}(u), \dots, \mu_{2n}(u), \mu_{2n+1}(u), \dots, \mu_{3n}(u)] = -\alpha_1(u) + G(u) \quad (8)$$

由上述过程推导可知,高校协同创新系统,经过一定时间的系统涨落发展,其他的参量会被序参量支配,使得系统的发展函数是一个关于序参

量 u 的函数,根据前人研究结合科研的实际情况,可确定为“成果”序参量。

如表1 高校协同创新过程完全符合协同学中

的各个要素要求,因此可以用协同理论分析这一过程。

表1 高校协同创新系统要素分析

系统	序参量	支配原理	自组织	相变	涨落
高校协同 创新系统	“成果” 序参量	学术成果引发的效应 起支配作用	各单元研究、成果发表 完全自组织	研究过程的突破成果 就是相变	各高校学者的研究即 涨落过程

3 “序参量”指标体系构建

在高校协同创新体系中,对科研绩效有直接影响或间接影响的可以作为评价体系的指标。首先,有直接影响的即为序参量“成果”,系统的关键影响因素。其次,对科研绩效有间接影响的,即对成果有影响的指标包括投入类指标。

协同创新体系中各子系统的“成果”指标构成分析如下:对于高校子系统,成果的主要来源是科研学术团队的研究成果著作、专利、学术论文,所以选择出版科技著作、发表学术论文、专利授权数三个指标。对于企业、科研机构子系统,主要成果为以企业发展为导向的研究产出的技术,所以选择技术转让企业合同数;对于政府子系统,主要成果为便于政府规划发展的报告,所以选用政府引导的国际学术会议特邀报告作为指标。

协同创新体系中各子系统的“投入”指标构成分析如下:对科研绩效有间接影响的投入指标,高校主要是人员投入,企业和政府主要是资金投入,所以选择高校、企业的科研机构支出费用、政府的科研事业费作为投入指标。

所以建立如表2 指标体系:

表2 高校协同创新体系评价指标体系

子系统	指标类型	指标	编号
高校	投入型	教学与科研人员	X_1
		出版科技著作	X_2
	成果型	发表学术论文	X_3
		专利授权数	X_4
企业	投入型	科研机构支出费用	Y_1
	成果型	技术转让企业合同数	Y_2
政府	投入型	科研事业费	Z_1
	成果型	主办国际学术会议	Z_2

4 高校协同创新系统的耦合协同度评价模型与方法对比

4.1 高校协同创新系统的耦合协同度评价模型

耦合起源于现代物理学,最早是用来研究电

路中系统与元件之间的相互合作相互影响现象。随着学者不断研究,耦合协调度模型被引入各个领域,反映事物的协调发展水平。系统在演变过程中存在多个子系统要素,各子系统之间既存在合作又存在竞争关系,耦合度可以反映子系统之间相互制衡相互促进的发展水平,而协调度是指子系统之间良性耦合作用使整个系统协调发展的程度。

耦合协调度模型分析思路如下:首先,构建指标体系,计算指标有序度和系统有序度;其次,通过有序度可分别计算出耦合度(C)、系统综合发展指数(T)、耦合协调度(D);最后,结合协调等级划分标准和耦合协调度,判定系统的协调发展水平。

结合高校协同创新体系的耦合协调度计算如下:

(1) 子系统划分

高校协同创新体系是以高校为主体,政府企业相互联系、相互影响的系统。根据协同理论可知,系统从无序发展到各子系统之间有机结合的过程中,序参量驾驭其他变量,产生支配效应,因此,可以利用起决定性作用的序参量来构建协同度评价模型。高校 S_1 与政府 S_2 、企业 S_3 组成一个复合系统 S ,则可以记为 $S = \{S_1, S_2, S_3\}$ 。

(2) 评价指标有序度

对于子系统而言,评价指标即为系统的序参量变量或者影响序参量的因素。子系统 S_1 在发展过程中包含4个影响因素 $\{X_1, X_2, \dots, X_4\}$,子系统 S_2 包含2个影响因素 $\{Y_1, Y_2\}$,子系统 S_3 包含2个影响因素 $\{Z_1, Z_2\}$ 。由于 $X_1, \dots, X_4, Y_1, \dots, Y_2, Z_1, \dots, Z_2$ 均为正向指标,因此取值越大,指标的有序程度就越高。

采集一系列描述复合系统某一状态的时间序列(数据来源于中华人民共和国教育部科学技术司编写的《高等学校科技统计资料汇编》2013-2019

年28个省、自治区、直辖市), $t_1, t_2, \dots, t_n, n > 1, t_n$ 时刻所对应的 X_i 记为 X_{in} , 那么在 $(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in})$ 中, 一定存在 $\text{Max}\{(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in})\}$ 、 $\text{Min}\{(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in})\}$, 记为 $\text{Max}(X_i)$ 和 $\text{Min}(X_i)$, 为避免计算有序度过程出现 0、1 不符合实际的极端值, 一般取 $a_i = 1.01\text{Max}(X_i)$, 和 $b_i = 0.99\text{Min}(X_i)$ 。则序参量 X_i 在时刻 t 的有序度为:

$$u_t(X_i) = \frac{X_i - b_i}{a_i - b_i} \quad (9)$$

显然, $u_t(X_i)$ 属于 $(0, 1)$, 其值越大, 说明序参量 X_i 对于子系统 S_1 的有序贡献越大。同理, 可以求出子系统 S_2 各序参量 Y_i 的有序度 $u_t(Y_i)$, 可以求出子系统 S_3 各序参量 Z_i 的有序度 $u_t(Z_i)$ 。

(3) 子系统在所有的指标的作用下, 系统 S_i 的有序度的计算

系统有序度计算可采用几何平均法和线性加权法等两种方法。为了使评价过程合理、有效, 本文采用线性加权法中的层次分析(AHP)来确定。系统构成如图1所示。

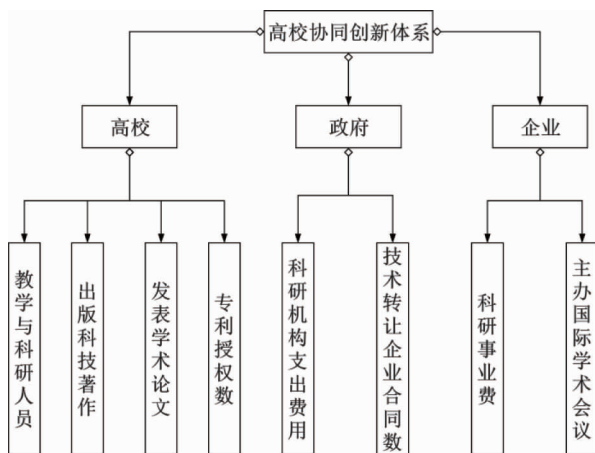


图1 高校协同创新评价指标体系

一是构造判断矩阵, 比较各要素两两相对重要性数值; 二是根据判断矩阵, 求出其最大特征根、特征向量, 计算重要性排序, 即权重分配; 三是通过一致性检验, 保证构造指标体系合理。

假设 X_i 所对应的权重为 α_i , Y_i 所对应的权重为 β_i , Z_i 所对应的权重为 ε_i , 则 S_1 在 t 时刻的有序度为:

$$U_t(S_1) = \sum_{i=1}^4 \alpha_i u_t(X_i) \quad (10)$$

则 S_2 在 t 时刻的有序度为:

$$U_t(S_2) = \sum_{j=1}^2 \beta_j u_t(Y_j) \quad (11)$$

S_3 在 t 时刻的有序度为:

$$U_t(S_3) = \sum_{k=1}^2 \varepsilon_k u_t(Z_k) \quad (12)$$

(4) 耦合度计算

耦合度代表子系统相互影响的作用强度, 衡量相互之间的协同作用。耦合度越高, 表明相互之间发展方向一致, 相互关系稳定, 计算公式如下:

高校和企业发展的耦合度为:

$$C_t(S_{12}) = \{U_1 U_2 / [(U_1 + U_2)/2]^2\}^{1/2} \quad (13)$$

政府和企业发展的耦合度为:

$$C_t(S_{23}) = \{U_2 U_3 / [(U_2 + U_3)/2]^2\}^{1/2} \quad (14)$$

高校和政府发展的耦合度为:

$$C_t(S_{13}) = U_1 U_3 / [(U_1 + U_3)/2]^{1/2} \quad (15)$$

高校、企业和政府发展的耦合度为:

$$C_t(S_{123}) = \{U_1 U_2 U_3 / [(U_1 + U_2 + U_3)/3]^3\}^{1/3} \quad (16)$$

其中, $C \in (0, 1)$, C 值越大表明系统间的共振耦合性越强, 反之越弱。

(5) 系统协调性的计算

耦合度可以在一定程度上反映系统之间相互促进和相互抑制的强度, 但不能代表协调程度。因此, 在耦合度基础上, 计算系统综合发展指数和耦合协调度来判断系统之间相互耦合的协调程度和发展协调性, 衡量系统在动态发展过程中的协调程度和一致性。

为反映系统间耦合协调和系统发展水平的高低, 定义耦合协调函数为 D 和系统综合发展指数为 T 。高校、企业、政府两两之间二元系统的发展度和耦合协调度计算公式如下:

$$T_i(S_{ij}) = \alpha U_i + \beta U_j \quad (\alpha + \beta = 1) \quad (17)$$

$$D_i(S_{ij}) = \sqrt{C_i(S_{ij}) \times T_i(S_{ij})} \quad (18)$$

高校、企业、政府三元系统的发展度和耦合协调度的计算公式如下:

$$T_i(S_{ijk}) = \alpha U_i + \beta U_j + \varepsilon U_k \quad (\alpha + \beta + \varepsilon = 1) \quad (19)$$

$$D_i(S_{ijk}) = \sqrt{C_i(S_{ijk}) \times T_i(S_{ijk})} \quad (20)$$

(6) 协同度的评价标准

不同的协同度评价标准, 有着不同的潜在意义。为了更直观说明系统的协调情况, 把握其发展水平, 对不同区间的协同度分级, 分级标准及状态描述如表3所示。其中, 一级为最高水平的协同, 协同效果最佳, 五级为不协同, 系统无序发展。

表 3 协同度的评价标准

取值范围	协调等级	协调级别	协同状态描述
$0 \leq D < 0.2$	严重失调	五级	不协同,处于无关状态,偏向于无序发展
$0.2 \leq D < 0.4$	重度失调	四级	较低水平的协同,处于杂乱无序状态,进入缓慢成长阶段
$0.4 \leq D < 0.6$	轻度失调	三级	一般水平协同,处于松散合作状态,进入加速成长阶段
$0.6 \leq D < 0.7$	初级协调	二级	较高水平协同,处于良性合作状态,步入快速成长阶段.
$0.7 \leq D < 0.8$	中度协调		
$0.8 \leq D < 0.9$	良好协调	一级	高水平协同,处于高度合作状态,进入成长突变期,将形成新的有序结构
$0.9 \leq D \leq 1$	优质协调		

4.2 方法对比及适用条件

将本文模型与方法同其他文献方法进行比较,可以得到比较结果如表 4 所示。针对近年来高校的科研绩效评价问题,大多学者研究关注于独立主体科研绩效而忽视了科研绩效的协同发展研究。文献[2]–[5]采用 DEA–Malmquist 指数模型,通过投入与产出视角解决高校科研绩效问题,取得良好效果,但该方法对于投入产出以外的指标评价效果有限;文献[8]–[9]针对高校科研绩效问题采用模糊综合评价法进行研究,解决科研

绩效指标量化的问题,但存在主观性强的不足;本文关注于高校创新体系的协同发展,通过高校创新体系的演化分析,引入序参量,结合耦合协调模型计算出协调度,对其协同效益进行定量评估。相比表 4 中其他文献的方法,本文方法对于高校创新体系的协同发展具有更强针对性,采用该方法评价协同效益更为科学同时能够溯源分析发展不平衡问题,对国内高校协同创新的评价体系具有指导性借鉴意义。

表 4 模型与方法比较结果

方法	优势	劣势	适用情况
模糊综合评价法	模糊指标信息能够量化表示	指标评价主观性较强	系统不确定因素多的评价问题
DEA–Malmquist 指数模型	对投入–产出评价具有很好的效果	对投入–产出以外的指标评估效率低	对系统投入–产出的评价问题
耦合协同的科研绩效模型	能够有效地反映出主体之间的协同发展情况	对于协同性以外的评价问题适用性差	多主体之间的协同效益评价问题

5 实证分析

本文选用《高等学校科技统计资料汇编》2013—2019 年的数据进行实证分析,首先以内蒙古自治区为例,原始数据如表 5。

按照第三章耦合协调度的计算方法,对数据进行处理得到表 6。

利用层次分析法构建指标体系的权重值,经过构造判断矩阵、计算重要性排序、一致性检验,得到最终各系统、指标权重如表 7。

由权重值和指标有序度可计算出子系统有序度,如表 8。

表 5 内蒙古自治区原始数据

原始数据	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
教学与科研人员	11 201	11 378	11 496	12 357	16 183	16 698	17 088
出版科技著作	162	171	193	260	397	305	318
发表学术论文	9 351	9 005	9 283	8 801	10 940	10 599	9 169
专利授权数	107	174	271	101	600	654	872
科研机构支出费用	116 443	131 442	108 147	81 689	112 515	100 172	188 564
技术转让企业合同数	10	1	1	16	1	3	5
科研事业费	32 198	34 885	39 454	30 318	32 584	30 665	33 364
国际学术会议特邀报告	57	52	65	28	44	32	36

表 6 指标有序度

指标有序度 u_i	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
高校 S_1	教学与科研人员	0.018	0.047	0.066	0.206	0.826	0.909
	出版科技著作	0.007	0.044	0.136	0.414	0.983	0.601
	发表学术论文	0.273	0.125	0.244	0.038	0.953	0.807
	专利授权数	0.008	0.094	0.218	0.000	0.639	0.708
企业 S_2	科研机构支出费用	0.325	0.461	0.249	0.007	0.289	0.176
	技术转让企业合同数	0.594	0.001	0.026	0.990	0.198	0.594
政府 S_3	科研事业费	0.222	0.495	0.960	0.031	0.261	0.066
	国际学术会议特邀报告	0.772	0.640	0.983	0.007	0.429	0.113

表 7 AHP 权重

子系统	权重值	指标	全局权重值	同级权重值
高校 S_1	0.5	教学与科研人员	0.05	0.10
		出版科技著作	0.11	0.22
		发表学术论文	0.23	0.46
		专利授权数	0.11	0.22
企业 S_2	0.25	科研机构支出费用	0.08	0.33
		技术转让企业合同数	0.17	0.67
政府 S_3	0.25	科研事业费	0.08	0.33
		国际学术会议特邀报告	0.17	0.67

表 8 子系统有序度

子系统有序度 $U_i(t)$	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
高校 S_1	0.131	0.092	0.196	0.129	0.878	0.751	0.548
企业 S_2	0.504	0.154	0.101	0.663	0.228	0.455	0.988
政府 S_3	0.589	0.592	0.975	0.015	0.373	0.097	0.259

根据公式可计算出系统耦合度 C、系统综合发展指数 T、耦合协调度 D, 如表 9、表 10、表 11 所示。

同理, 得出各省市自治区的 2019 耦合协调度表, 如表 12。

表 9 系统耦合度

耦合度 C	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
校企协同	0.456	0.340	0.365	0.464	0.602	0.753	0.840
政企协同	0.737	0.495	0.427	0.172	0.532	0.400	0.641
政校协同	0.463	0.400	0.572	0.165	0.724	0.415	0.593
政校企协同	0.457	0.311	0.357	0.169	0.533	0.424	0.617

表 10 系统综合发展指数

系统综合发展指数 T	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
校企协同	0.255	0.113	0.164	0.307	0.662	0.652	0.695
政企协同	0.546	0.373	0.538	0.339	0.301	0.276	0.623
政校协同	0.283	0.259	0.456	0.091	0.710	0.533	0.452
政校企协同	0.339	0.233	0.367	0.234	0.589	0.514	0.586

表 11 耦合协调度

耦合协调度 D	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
校企协同	0.341	0.196	0.245	0.377	0.631	0.701	0.764
政企协同	0.635	0.430	0.479	0.242	0.400	0.332	0.632
政校协同	0.362	0.322	0.511	0.122	0.717	0.470	0.518
政校企协同	0.393	0.269	0.362	0.199	0.561	0.467	0.601

表 12 2019 年各区域耦合协调度

区域	校企协同	政企协同	政校协同	校政企协同	区域	校企协同	政企协同	政校协同	校政企协同
山西	0.979	0.983	0.984	0.980	上海	0.859	0.961	0.838	0.869
四川	0.970	0.989	0.970	0.973	安徽	0.839	0.985	0.836	0.868
陕西	0.968	0.988	0.966	0.970	山东	0.969	0.807	0.823	0.855
天津	0.967	0.986	0.964	0.969	黑龙江	0.895	0.857	0.798	0.834
浙江	0.954	0.990	0.953	0.960	云南	0.906	0.804	0.811	0.826
河北	0.964	0.963	0.943	0.951	江西	0.810	0.833	0.852	0.815
河南	0.938	0.952	0.963	0.945	江苏	0.921	0.751	0.736	0.784
广东	0.987	0.918	0.930	0.941	新疆	0.851	0.752	0.774	0.774
甘肃	0.908	0.991	0.907	0.925	辽宁	0.804	0.806	0.737	0.759
北京	0.878	0.983	0.879	0.906	湖北	0.855	0.661	0.639	0.692
重庆	0.883	0.988	0.880	0.903	广西	0.672	0.848	0.582	0.663
福建	0.917	0.908	0.855	0.881	吉林	0.779	0.683	0.567	0.643
湖南	0.875	0.833	0.948	0.877	宁夏	0.779	0.664	0.565	0.636
贵州	0.900	0.922	0.850	0.877	内蒙古	0.764	0.632	0.518	0.601

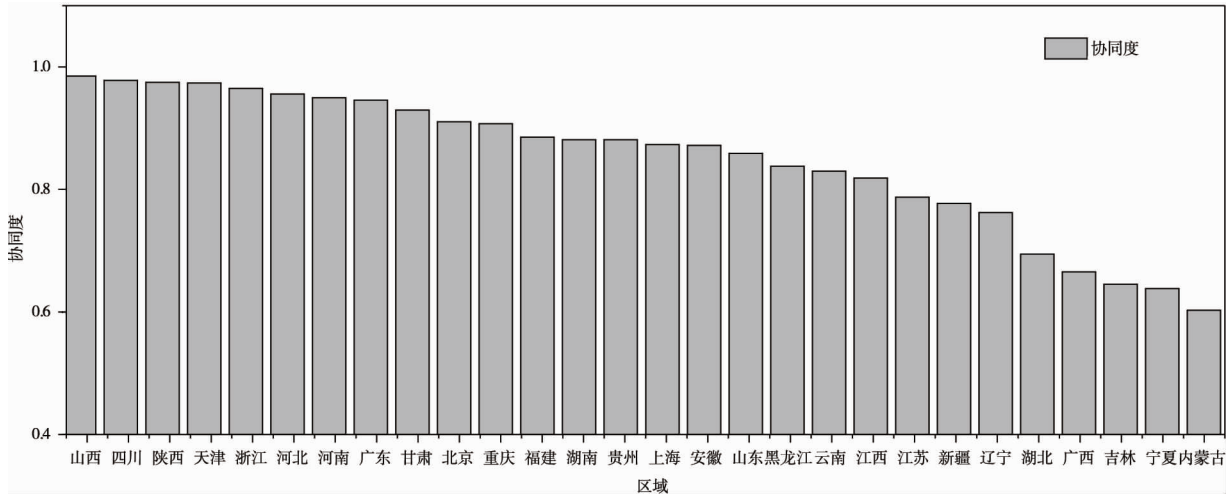


图 2 2019 年各区域耦合协调度柱状图

将协同度转换为柱状图,如图 2 可知:(1)截至 2019 年我国各省市校政企协调度都处于初级协调以上,未出现失调现象。在校企协同、政企协同、政校协同方面,除了广西、吉林、宁夏回族自治区三个区域的政校协同出现轻度失调,其他地区都在初级协调以上。(2)纵向对比:山西、四川、陕西、天津、浙江、河北、河南、广东、甘肃省、北京、重庆地区校政企属于优质协调;福建、湖南、贵州、

上海、安徽、山东、黑龙江、云南、江西地区校政企属于良好协调;江苏、新疆维吾尔自治区、辽宁校政企属于中度协调;湖北、广西、吉林、宁夏回族自治区、内蒙古地区校政企属于初级协调。(3)横向对比:在校政企协同程度为初级协同中,湖北、吉林、宁夏回族自治区、内蒙古自治区主要是由于政企、政校协同度较低,广西是由于校企、政校协同不够。

根据上述结果,可进一步分析湖北、吉林、宁夏回族自治区、内蒙古自治区等地区的具体协同原因。以内蒙古自治区为例,内蒙古自治区的政企、政校协同度较低,可根据表5指标有序度和表7子系统有序度表进行溯源分析,发现随时间变化高校和企业各指标成倍增长,而政府的各类指标停滞不前甚至负增长,这与其他两个系统的发展背道而驰,出现失调现象,所以政府应该加大对科研的投入,与高校、企业平衡发展。

6 结论

本文讨论了如何评价高校协同创新体系,量化协同效应的问题。通过引入序参量,结合耦合协调模型计算出协调度并实证分析。研究发现以下结论:(1)针对系统之间各要素关系复杂,通过定性分析、演化模型推理的方法,得出高校协同创新体系的关键性因素,“成果”序参量。(2)为了构建科学的指标体系,将高校协同创新体系分为高校、政府、企业三个子系统,围绕子系统和序参量的影响因素,通过两类型指标即子系统投入型和成果型构建了完整的评估体系。(3)采用AHP方法确定系统要素权重值,引入了耦合协调模型,通过计算耦合度(C)、系统综合发展指数(T)、耦合协调度(D)三值实现了量化分析协同效应。(4)本文以国内28个省市自治区数据进行实证分析,发现:截止到2019年我国各省市校政企协调度都处于初级协调以上,未出现失调现象;但各区域之间协调程度分布不均衡,协同效应差异较大;根据本文的模型研究可溯源分析协同较低的原因,为政府采取有效措施、实现均衡发展提供可靠依据。

参考文献:

- [1] 何甜甜,赵应伟.基于投入产出视角的高校科研团队绩效评价研究[J].中国内部审计,2021(2):91-95.
- [2] 王忠,文字峰,孙玉芳,等.基于DEA-Malmquist方法的高校科研活动分类绩效评价实证研究[J].暨南学报(哲学社会科学版),2021(6):121-132.
- [3] 陈雅琳,梁新潮.教育部直属高校科研绩效分析——基于主成分分析法与DEA-Malmquist指数模型[J].集美大学学报(哲学社会科学版),2020(4):69-79.
- [4] 赵庆国,何佳.我国不同区域高校科研绩效评价——基于超效率DEA模型和Malmquist指数法[J].技术与创新管理,2020(6):581-587.
- [5] 廖帅,葛梅,苏雪晨,等.我国不同区域高校科研效率评价研究——基于分类DEA模型的实证分析[J].中国高校科技,2021(Z1):38-42.
- [6] 白宝光,尚芳.地方高校教师科研绩效影响因素研究——以内蒙古为例[J].决策探索(中),2021(5):59-60.
- [7] 卢一墨.基于AHP-fuzzy法的高校绩效评价指标体系研究——以S学院为例[J].中国经贸导刊(中),2020(10):121-123.
- [8] 蒋兴华,汪玲芳,范心雨.高校协同创新中心建设绩效评价研究[J].中国高校科技,2020(7):30-32.
- [9] 张苗,潘联洲,吴颖利.基于平衡计分卡的高校科研绩效评价体系设计[J].中国管理信息化,2021(10):223-225.
- [10] 李永周,权德衡,吴礼雄.基于创新人才网络嵌入的高校协同创新绩效评价[J].科技管理研究,2018(21):99-106.
- [11] XU CHANGQING. Towards a Framework for Evaluating the Research Performance of Chinese Double First-Class Universities[J]. Frontiers of Education in China, 2020(3):369-402.
- [12] BASU A, BANSHAL S K, SINGHAL K, et al. Designing a Composite Index for Research Performance Evaluation at the National or Regional Level: Ranking Central Universities in India[J]. Scientometrics, 2016(3):1171-1193.
- [13] BONACCORSI A, SECONDI L. The Determinants of Research Performance in European Universities: a Large Scale Multilevel Analysis[J]. Scientometrics, 2017(4):1147-1178.
- [14] VINIG T, LIPS D. Measuring the Performance of University Technology Transfer Using Meta Data Approach: the Case of Dutch Universities[J]. Journal of Technology Transfer, 2015(6):1034-1049.
- [15] ABRAMO G, AKSNES D W, ANGELO C A D. Comparison of Research Performance of Italian and Norwegian Professors and Universities[J]. Journal of Informetrics, 2020(2):1-16.
- [16] CALABRESE A, CAPECE G, COSTA R, et al. A 'Power Law' Based Method to Reduce Size-related Bias in Indicators of Knowledge Performance: An Application to University Research Assessment[J]. Journal of Informetrics, 2018(4):1263-1281.
- [17] GIOVANNI, ABRAMO, TINDARO, et al. The Impact of Unproductive and Top Researchers on Overall University Research Performance[J]. Journal of Informet-

- rics, 2013;166-175.
- [18] KIM Y, LIM H J, LEE S J. Applying Research Collaboration as a New Way of Measuring Research Performance in Korean Universities[J]. *Scientometrics*, 2014(1):97-115.
- [19] ALDIERI L, KOTSEMIR M N, VINCI C P. The Effects of Collaboration on Research Performance of Universities: an Analysis by Federal District and Scientific Fields in Russia [J]. *Journal of the Knowledge Economy*, 2020(11):1-22.
- [20] LARA G, LLACH J, ARBUSSA A. Innovation Performance Of The Firms That Have Cooperated With Universities And Research Institutes In Spain[J]. *International Journal of Innovation Management (ijim)*, 2020(6):1-25.
- [21] 蔡绍洪,苏禹.自组织系统规格化模型序参量的形成及演化[J].*贵州科学*,2002(1):21-26,20.

An Empirical Study on the University Collaborative Innovation System Based on Coupling Collaborative Model

YANG Mingxin, FENG Lei

(School of Economics and Management, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

Abstract: The academic level of colleges and universities is decided by their scientific research abilities to a great extent. Therefore, their scientific research performance is of great significance for their scientific development. In this paper, the coupling coordination degree model in coordination science is introduced here to evaluate the synergy of the university collaborative innovation system. Here goes the steps of researching. Firstly, the key variable in the system —— the “achievement” order parameter —— is deduced by the evolutionary model of the university collaborative innovation system. Secondly, the evaluation index system is constructed around the order parameters. Finally, a whole set of evaluation system is eventually produced by calculating out the synergy degree among systems and subsystems with the combination of the coupling coordination degree model and the AHP. In addition, according to the data of *Compilation of Scientific and Technological Statistics in Colleges and Universities* in 28 universities from the year of 2013 to 2019 compiled by the Ministry of Education, this paper makes the empirical analysis upon the collaborative status of three parts, including the university, the government and the enterprise. The research results of this study have instructive significance for the evaluation system of collaborative innovation in domestic universities.

Keywords: university collaborative innovation system; order parameter; coupling collaborative model; AHP

(责任校对 葛丽萍)