



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

产学研创新系统耦合协调度及影响因素研究 ——以湖北省为例

朱巍 张景 安然 陈慧慧

武汉科学技术情报中心 湖北武汉 430023

摘要: 产学研结合是拉近高校、科研机构与市场需求距离,快速提升企业创新能力的重要形式。以湖北产学研结合状况作为研究对象,借助耦合理论开展产学研协调发展水平研究,在建立产学研结合评价指标体系的基础上,采用耦合协调度模型和灰色关联分析法,实证分析湖北产学研耦合协调度及影响湖北产学研协同创新的关键因素。研究表明,2011—2017年间,湖北产学研耦合协调度随企业、高校、科研机构发展水平变化,呈现出快速提升的态势;对湖北产学研协同创新影响最大的因素分别是企业R&D经费内部支出,以及企业、高校、科研机构仪器设备支出。在此基础上,对提升湖北产学研结合绩效提出建议。

关键词: 产学研; 耦合协调度; 影响因素

中图分类号: G301 G35

Coupling Coordinative Analysis and Influencing Factors of Industry-University-Research Institute Innovation System -Taking Hubei Province as An Example

ZHU Wei ZHANG Jing AN Ran CHEN Huihui

Wuhan Science and Technology Information Center, Wuhan 430023, China

基金项目: 湖北省技术创新专项软科学研究类项目“湖北产学研创新系统耦合发展水平及影响因素研究”(2019ADC128)。

作者简介: 朱巍(1978-), 研究员, 主要研究方向: 科技管理、科技信息; 张景(1982-), 副研究员, 研究方向: 科技信息; 安然(1990-), 助理工程师, 研究方向: 技术经济; 陈慧慧(1985-), 副研究员, 研究方向: 科技情报、区域创新, E-mail: 52673503@qq.com。

Abstract: The combination of Industry-University-Research is an important way to close the gap between universities, scientific research institutions and market demand, which can enhance the innovation capability of enterprises rapidly. Taking the Industry-University-Research cooperation of Hubei as an example, this paper studies the coordinated development level of Industry-University-Research with the aid of coupling theory. On the basis of evaluation index system of Industry-University-Research cooperation, the coupling coordination degree model and grey relational analysis method are used to empirically analyze the coupling coordination degree and the key factors of Industry-University-Research in Hubei. From 2011 to 2017, the results show that the coordination degree of Industry-University-Research coupling in Hubei shows a rapid growth trend along with the development level of Industry-University-Research. The factors that have the greatest impact on the collaborative innovation of Industry-University-Research in Hubei are the total internal expenditure of R&D by enterprises, and the equipment expenditure by enterprises, universities and scientific research institutions. On this basis, some suggestions are put forward to improve the performance of Hubei Industry-University-Research cooperation.

Keywords: Degree of coupling coordination; influencing factors; Industry-University-Research

引言

产学研结合作为连接企业、高校和科研院所共同创新的模式，是解决研发成果和市场需求“两张皮”问题^[1]的有效渠道。湖北作为传统的科教大省、工业大省，目前拥有高等院校129所，高新技术产业增加值达548.829亿元，在产学研合作方面具有雄厚的基础，并一直积极开展产学研合作实践。但是，湖北丰富的科教资源并未充分转化为经济发展优势，对产学研结合发展的评价仍较多依赖主观判断，客观、量化的研究比较缺乏，因此，如何科学衡量产学研系统是否相适应或适应性强弱成为迫切需要解决的问题。

本研究将从产学研合作成果性绩效出发，借助耦合理论开展产学研协调发展水平研究。首先，建立一套科学量化的产学研合作评价指标体系，测算子系统的创新发展水平。其次，利用耦合协调度模型，测算企业、高校、科研机构三个子系统发展相适应程度^[2]，以此来判别产学研创新系统内部的好坏，从而真正科学

客观地评价湖北省产学研合作现状。最后，进一步利用灰色关联法找出影响产学研协调创新的关键因素，为进一步提升湖北省产学研合作水平提供新思路。

1 理论回顾

1.1 产学研创新系统的内涵

产学研创新系统是一个具有开放性、非线性和动态性的复杂系统^[3]。各创新子系统基于自身创新资源，发挥自身优势与创新能力，使创新资源要素突破系统间壁垒，有效聚集整合，充分释放资源优势，按照“利益共享、风险共担、优势互补、共同发展”的原则，形成一个耦合协调的互助关系。

企业、高校、科研机构是产学研创新系统的核心组成部分，三个创新子系统之间存在相互促进又相互制约的关系。在产学研结合活动中，企业作为需求者，从高校、科研机构中获取所需的科技成果、人才，为企业发展获取原动力；作为供给者为高校、科研机构提供开展

研究和人才培养的资源: 主要作用有经费提供、技术需求提供, 承接技术转移, 咨询反馈等^[4]。高校拥有丰富的科研和人才资源, 使其具备强大的人才优势和科研创新能力, 是原创性技术创新、基础研究的主要提供者, 主要为企业输出人才、技术和科研成果^[5]; 主要作用有原始创新、成果提供、技术瓶颈攻克、技术培训等。科研机构也具有科研人才集聚、科研优势突出的特点, 研发重点着眼于产业需求, 是创新成果的研发与生产者: 主要作用是行业共性技术研发、技术咨询、中试、产业化等。

1.2 产学研创新系统耦合的内涵

在物理学中, 耦合是指两个或两个以上系统相互影响的运动方式^[6]。耦合协调是多个系统之间或系统内部要素之间相互和谐、良性循环的互动关系^[7]。耦合协调是系统之间或系统内部协调状况好坏程度的定量测度^[8], 如果系统或要素之间相互配合, 处于高度耦合协调的状态, 那么系统就会朝着良性循环发展。

在产学研合作创新的过程中, 企业、高校、科研机构三个相对独立的子系统, 通过协同创新构建从科研、设计、工程、生产到市场紧密衔接的技术创新全链条, 实现从创新成果到一定规模商品生产的转化, 形成一个交互协作的系统。耦合协调度越高说明产学研各子系统间相互作用越多, 技术创新链条上的互补性合作越多, 协同效应越明显; 耦合协调度低则说明产学研各子系统间更依赖自身体系的创新, 相互间合作较少^[9-10]。产学研耦合协调程度就是产学研合作水平及创新能力的综合体现。

1.3 产学研创新系统耦合的评价

基于产学研合作三方都具有人、财、物的投入要素, 有科技成果、产业化、产值等各类产出要素^[11], 而可判断的静态耦合关系是动态耦合作用的结果, 以绩效为代表的静态耦合现象是动态耦合行为的展现^[12-13]。因此, 本研究从产学研合作成果性绩效出发评价产学研耦合协调水平, 通过测量产学研合作的最直接、可衡量的投入与产出, 采用标准、规范、可获取的经济数据评价产学研各方及三方合作状况。

2 指标体系与方法

2.1 指标体系

由产学研耦合的内涵可知, 产学研耦合状况是多因素综合作用的结果, 指标体系的构建要充分考虑系统性、代表性、科学性。综合考虑产、学、研各方在合作创新中的主要作用, 以及指标的稳定性、定量性、可获得性, 构建了湖北产学研耦合协调度评价指标体系(表1)。相关数据来源于《湖北省科技统计年鉴》。

具体指标选取参照科技创新、产学研合作研究领域最具代表性的核心统计指标, 从创新主体、创新投入、创新活动、创新产出四个维度选择 23 个指标。其中创新主体维度选取高新技术企业数、普通高校数、科研机构数表征; 创新投入维度考虑人、财、物三方的投入, 分别选取 R&D 经费内部支出、R&D 人员全时当量、仪器设备支出表征; 创新活动维度由 R&D 项目数表征; 创新产出维度从成果产出、经济绩效产出两方面考虑, 分别选取发明专利拥有

量、科技论文数，新产品销售收入占主营业务收入的比重、高新技术产业中规上工业产值占全省规上工业产值的比重、技术合同成交额等

指标表征。各项指标均为正向指标，量度方式为绝对量和相对量相结合，指标在研究期间的统计口径保持一致。

表 1 湖北产学研耦合协调度评价指标体系

类别	指标	维度
产 (企业)	高新技术企业数(个)	创新主体
	R&D经费内部支出(万元)	创新投入
	R&D人员全时当量(人年)	创新投入
	仪器设备支出(千元)	创新投入
	R&D项目数(个)	创新活动
	发明专利申请量(个)	创新产出
	技术输出合同成交额(亿元)	创新产出
	新产品销售收入占主营业务收入的比重(%)	创新产出
学 (高校)	高新技术产业中规上工业产值占全省规上工业产值的比重(%)	创新产出
	普通高校数(个)	创新主体
	R&D经费内部支出(万元)	创新投入
	R&D人员全时当量(人年)	创新投入
	仪器设备支出(千元)	创新投入
	R&D项目数(个)	创新活动
	发明专利拥有量(个)	创新产出
研 (科研机构)	科技论文数(篇)	创新产出
	科研机构数(个)	创新主体
	R&D经费内部支出(万元)	创新投入
	R&D人员全时当量(人年)	创新投入
	仪器设备支出(千元)	创新投入
	R&D项目数(个)	创新活动
	发明专利申请量(个)	创新产出
科技论文数(篇)	创新产出	

2.2 研究方法

2.2.1 熵值法

熵值法是以指标离散程度判断指标信息的数据量，从而确定指标权重的数学方法，能有效避免人为赋权的主观性。本研究将采用熵值法来计算评价指标的权重系数。

由于各指标原始数据量纲不同，数量级差也悬殊，为使原始数据消除量纲，合并数据级，使其具有可比性，首先需要对指标进行标准化处理。本研究选择最小-最大标准化方法对原始指标数据进行标准化处理，选取的指标数据均为正数，公式如下：

$$x_{ij} = \frac{(x_{ij} - \beta_{ij})}{(\alpha_{ij} - \beta_{ij})} \quad (1)$$

其中, x_{ij} 为标准化处理后的指标值, α_{ij} 和 β_{ij} 分别为各序列参量的上限值和下限值。

对原始指标数据进行标准化处理后, 即可采用熵值法来计算评价指标的权重系数。具体步骤如下:

第一步, 对指标做比重变换, 公式(2),

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

第二步, 计算第 j 项指标的熵值(3), 如下:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (3)$$

式(3)中, $k > 0$, $e_j \geq 0$, 常数 k 与评价样本数 m 有关, 一般令 $k=1/\ln(m)$, 这里 $m=7$, 则 $0 \leq e_j \leq 1$ 。

第三步, 根据熵值法确定指标权重 w_j , n 为指标数。

$$w_j = \frac{(1 - e_j)}{(n - \sum_{i=1}^n e_j)} \quad (4)$$

第四步, 计算各子系统对总系统的功效贡献, 也就是子系统的创新发展水平 U_i 。

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \quad (5)$$

其中, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

2.2.2 耦合协调度模型

本研究借鉴物理学耦合系数模型, 构建产学研创新系统协调度评价指标体系, 测算企业、高校、科研机构三个子系统发展相适应程度。根据物理学耦合系数模型可知, 利用产学研子系统创新发展水平 U_i 可以计算产学研耦合度, 记为 C , 计算公式如下:

$$C = \frac{\sqrt[3]{U_1 \times U_2 \times U_3}}{U_1 + U_2 + U_3} \quad (6)$$

式(6)中, $0 \leq C \leq 1$, 其值越大, 表示子

系统间耦合度越高。 U_1 、 U_2 、 U_3 分别代表企业、高校和科研机构三个子系统的创新发展水平。 C 为产学研耦合度。

由于仅凭借耦合度体现协同效应可能会产生偏差, 难以很好地表征系统内部的协调发展程度。而耦合协调度是用来衡量不同子系统发展的相互适应程度, 能够较好体现内部状况的好坏程度。因此, 在耦合度模型的基础上引入耦合协调度模型^[14], 以便更好地分析产学研三个子系统之间相互耦合的协调程度。其计算公式如下:

$$D = \sqrt{C \times T}, T = \alpha U_1 + \beta U_2 + \gamma U_3 \quad (7)$$

其中, D 为产学研耦合协调度, T 为企业、高校和科研机构三个子系统的综合发展度, 反映了各子系统的创新发展对协调度的贡献; α 、 β 、 γ 为待定系数, 且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。考虑到企业创新子系统在产学研创新系统中的重要作用, 在此设定 $\alpha=0.4$ 、 $\beta=0.3$ 、 $\gamma=0.3$ 。 D 越大, 说明三大子系统之间的耦合协调程度越高, 反之则越低。

借鉴相关研究^[15-16], 将产学研耦合度划分为5个等级: $0 \leq D < 0.2$ 为低度耦合; $0.2 \leq D < 0.4$ 为较低度耦合; $0.4 \leq D < 0.6$ 为中度耦合; $0.6 \leq D < 0.8$ 为较高度耦合; $0.8 \leq D < 1$ 为高度耦合; 将产学研耦合协调度也划分为5个等级: $0 \leq D < 0.2$ 为低度耦合协调; $0.2 \leq D < 0.4$ 为较低度耦合协调; $0.4 \leq D < 0.6$ 为中度耦合协调; $0.6 \leq D < 0.8$ 为较高度耦合协调; $0.8 \leq D < 1$ 为高度耦合协调。

2.2.3 灰色关联分析法

产学研结合影响因素众多而非线性, 为更加客观反映影响产学研结合的主要因素及影响差异, 本研究采用灰色关联分析法^[17-18]对23

个产学研耦合协调发展水平的影响因素进行分析研究。灰色关联分析法根据因素之间发展趋势的相似或相异程度来衡量因素间关联程度，是对动态过程发展态势的量化分析。若两个因素变化的趋势具有一致性，同步变化程度较高，则二者关联度较高。反之，则较低。

关联系数计算公式（8）如下：

$$\varepsilon_i(k) = \frac{(\min_i \Delta_i \min + \rho \max_i \Delta_i \max)}{(|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \Delta_i \max)} \quad (8)$$

其中， $\min_i \Delta_i \min = \min_k \left(\min_i |X_0(k) - X_i(k)| \right)$ ， $\max_i \Delta_i \max = \max_k \left(\max_i |X_0(k) - X_i(k)| \right)$ ， $\varepsilon_i(k)$ 是第 k 个时刻比较曲线 x_i 与参考曲线 x_0 的相对差值， ρ 是分辨系数，通常取 0.5，参考曲线 x_0 在这里即为耦合协调度数列， x_i 为 23 个影响因素数列。

取平均值计算关联度，公式（9）如下：

$$R_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon_i(k) \quad (9)$$

表 2 2011-2017 年湖北企业、高校、科研机构创新发展水平指数

	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
企业	0.060 7	0.141 6	0.256 4	0.398 0	0.523 7	0.709 4	0.857 4
高校	0.156 2	0.182 6	0.227 9	0.269 2	0.571 9	0.488 4	0.713 3
科研机构	0.163 9	0.304 9	0.393 8	0.484 3	0.551 9	0.586 6	0.727 1

湖北产学研创新子系统发展水平从 2011-2017 年大体呈上升趋势，企业、高校、科研机构三个创新子系统发展水平增幅显著。期间三个子系统的创新发展水平排序经历了一定变化，2011-2012 年，科研机构 > 高校 > 企业；2013-2014 年，科研机构 > 企业 > 高校；2015 年，高校 > 科研机构 > 企业；2016-2017 年，企业 > 科研机构 > 高校。

3 产学研创新系统发展水平及耦合协调度

3.1 企业、高校和科研机构创新发展水平测度

运用公式（1）对 2011-2017 年湖北企业、高校和科研机构三个创新子系统的 23 项指标数据进行无量纲化处理（为使无量纲化处理结果不出现 0，此处利用 2011-2017 年各指标的最小值下浮 10% 作为序参量的下限值，各指标的最大值上浮 10% 作为序参量的上限值）^[19]。在此基础上，利用公式（2）、公式（3）、公式（4）确定各指标的权重，并根据标准化后的各指标值及其权重，利用公式（5）计算各子系统的综合序参量值，也就是各子系统对总系统的功效贡献，即子系统的创新发展水平指数，如表 2 所示。

3.2 产学研创新系统耦合协调度测评

根据湖北企业、高校、科研机构三个创新子系统发展水平指数，通过公式（6）和公式（7）分别计算湖北产学研创新系统耦合协调度，结果见表 3。按照前文拟定的标准，我们将产学研耦合协调度从低到高划分为五个等级，每 0.2 为一档。湖北产学研耦合协调度在研究期间内经历了四个水平等级：2011 年处于较低度耦合

协调; 2012年步入中度耦合协调, 2013年保持中度耦合协调状态; 2014年步入较高度耦合协

调, 2015年和2016年继续保持较高度耦合协调状态; 2017年实现高度耦合协调。

表3 湖北产学研耦合协调度情况

	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
数值	0.331 3	0.438 8	0.530 0	0.611 8	0.739 1	0.774 1	0.878 9
等级	较低度	中度	中度	较高度	较高度	较高度	高度

4 产学研耦合协调度影响因素分析

根据湖北产学研耦合协调度, 通过公式(8)

和公式(9)计算湖北产学研耦合协调度影响因素的关联度, 结果如表4所示。

4.1 产学研耦合协调度影响因素关联度

表4 湖北产学研耦合协调度影响因素关联度排序表

序号	主体	指标名称	关联度	维度
1	企业	R&D经费内部支出(万元)	0.940 844 499	创新投入
2	企业	仪器设备支出(万元)	0.886 845 967	创新投入
3	高校	仪器设备支出(万元)	0.875 108 766	创新投入
4	科研机构	仪器设备支出(万元)	0.866 075 87	创新投入
5	科研机构	R&D项目数(个)	0.860 834 384	创新活动
6	企业	R&D项目数(个)	0.854 998 064	创新活动
7	科研机构	R&D经费内部支出(万元)	0.850 831 369	创新投入
8	高校	R&D经费内部支出(万元)	0.841 626 718	创新投入
9	企业	高新技术产业中规模以上工业产值占全省规模以上工业产值的(%)	0.840 588 475	创新产出
10	企业	R&D人员全时当量(人年)	0.825 012 647	创新投入
11	企业	发明专利拥有量(个)	0.818 436 864	创新产出
12	高校	发明专利拥有量(个)	0.815 731 462	创新产出
13	高校	R&D项目数(个)	0.814 170 089	创新活动
14	企业	新产品销售收入占主营业务收入的比重(%)	0.811 596 442	创新产出
15	科研机构	科技论文(篇)	0.803 489 143	创新产出
16	科研机构	R&D人员全时当量(人年)	0.803 221 92	创新投入
17	高校	R&D人员全时当量(人年)	0.791 989 392	创新投入
18	高校	普通高校数(个)	0.787 748 918	创新主体
19	高校	科技论文(篇)	0.787 408 022	创新产出
20	科研机构	发明专利拥有量(个)	0.783 659 008	创新产出
21	企业	高新技术企业数(个)	0.779 732 338	创新主体
22	科研机构	科研机构数(个)	0.767 741 546	创新主体
23	企业	技术输出合同成交额(万元)	0.595 357 834	创新产出

4.2 产学研耦合协调度影响因素分析及总体评价

湖北省产学研耦合协调度影响因素的关联度数据(表4)表明,各级指标与产学研耦合协调度的关联度均较强,说明这些指标对产学研耦合协调度都有一定正向影响,关联度最大值为0.940 8,关联度最小值为0.595 3,95%的指标关联度在0.76以上。

从排名靠前的指标来看,企业的R&D经费内部支出对湖北产学研耦合协调水平影响最大,关联度为0.940 8,遥遥领先其他指标。说明产学研合作中企业用资金支出反映出的企业技术需求,是产学研合作展开的主要动力因素,对产学研耦合协调发展具有突出影响。企业、高校、科研机构的仪器设备支出对产学研耦合协调水平影响排名分列第二、三、四位,说明当前仪器设备作为产学研合作活动中重要的物质条件,对产学研耦合协调发展具有十分重要的意义。

从排名靠后的指标来看,对湖北产学研耦合协调水平影响最小的是技术合同成交额。技术转移主要表现为企业之间技术的合作与交流,该项指标排名靠后,说明企业间的技术交流能力对产学研耦合协调水平的影响相对不重要。科研机构数、高新技术企业数对产学研耦合协调水平影响度排名分列倒数第二、第三,但是关联度数值(0.767 7,0.779 7)明显高于排名倒数第一的技术合同成交额(0.595 4),湖北省科研机构的质量整体水平高,高新技术企业也具有相当的竞争力,均对产学研耦合协调有一定影响,但由于湖北省科研机构、高新技术企业的基数较高,数量的继续增加对提升产学研耦合协调水平的边际效益相对较小。

4.3 基于指标体系划分维度的产学研耦合协调度影响因素分析

本研究所建立的指标体系从创新主体、创新投入、创新活动、创新产出四个维度对三大类23个指标进行了划分。其中创新主体指标3个,创新投入指标9个,创新活动指标3个,创新产出指标8个。

按照科技创新活动流程,总的来说,创新投入维度对湖北产学研耦合协调水平的整体影响最大,其次为创新活动维度,再次之为创新产出维度,最后是创新主体维度。其中,关联度最高的指标出自创新投入维度,关联度最低的指标出自创新产出维度。

(1) 创新主体

从创新主体维度来看,三大创新主体数量指标对湖北产学研耦合协调水平影响因素关联度排名不高(见图1)。湖北省是传统科教大省,拥有普通高校100余所,科研机构众多且整体研究水平高,高新技术企业数全国第7且企业质量较高,创新主体资源较为充足,在提升产学研耦合协调度方面已具有相当优势。相较大多数其他指标,产学研三方创新主体数量的进一步增加对产学研耦合协调水平的提升效应较小。

(2) 创新投入

从创新投入维度来看,高校、科研机构、企业三者的创新投入中,仪器设备支出指标、R&D经费内部支出指标关联度明显高于R&D人员全时当量指标。

这说明,以仪器设备为代表的物质投入、以R&D经费内部支出为代表的资金投入,对湖北产学研耦合协调水平的影响要明显高于以

R&D 人员全时当量为代表的人力投入。此现象说明,进一步提升物质和资金投入水平对湖北产学研耦合协调水平的提升效应最明显。相对而言,只增加 R&D 人员全时当量对湖北产学研耦合协调水平的进一步提升效应较小。这表明

湖北省已拥有较为充分的产学研人才资源,现有人才储备比较适应现有产学研耦合协调水平,如何进行体制机制创新,充分发挥现有科技人员的潜能,相比简单追求科技人才数量的进一步提升,是更应该优先考虑的问题。

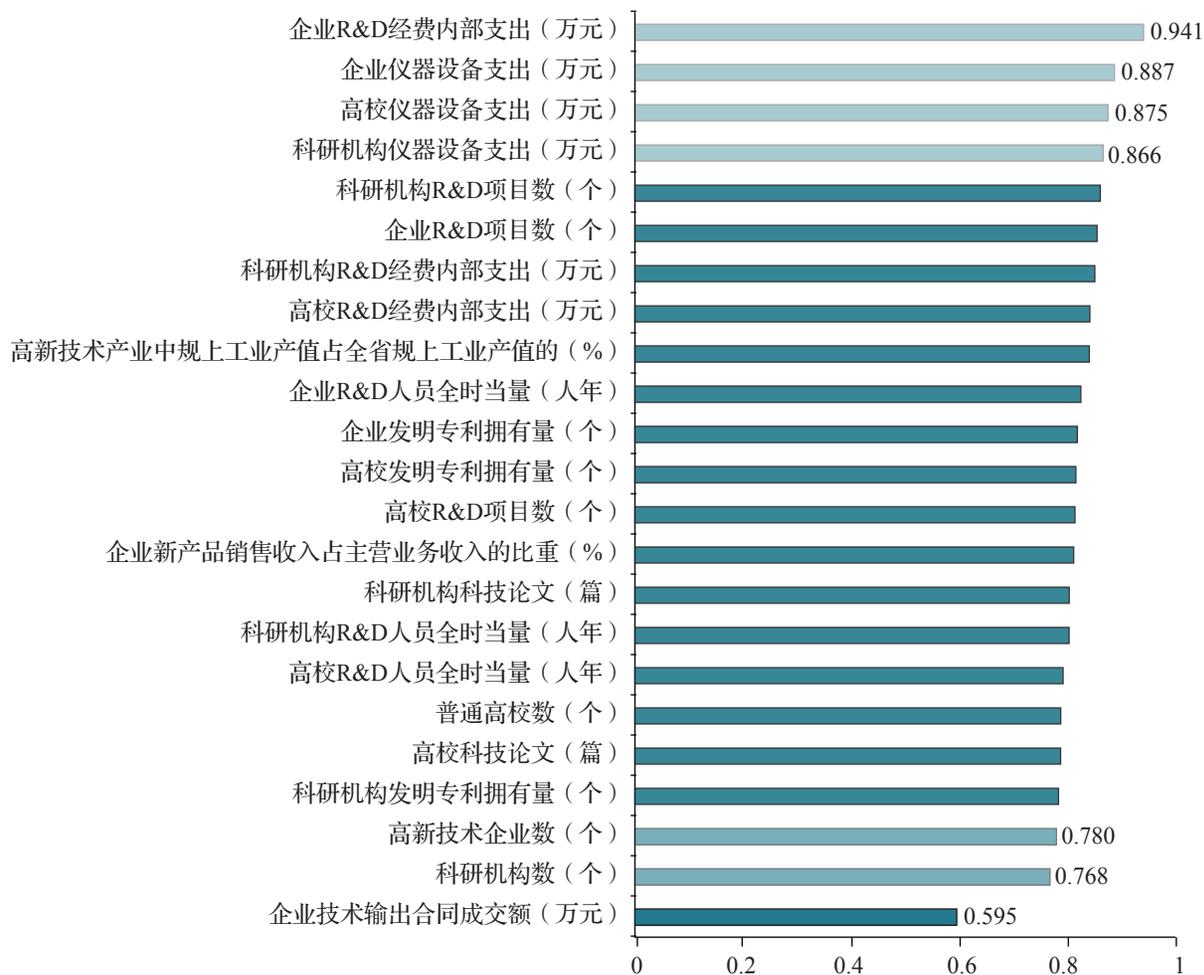


图1 湖北产学研耦合协调度影响因素关联度排位图

(3) 创新活动

从创新活动维度来看,科研机构 R&D 项目数指标关联度最大,企业 R&D 项目数指标关联度次之,高校 R&D 项目数指标关联度相对最小。增加高校、科研机构、企业创新活动的频率对湖北产学研耦合水平均有提升效应,其中增加科研机构 R&D 项目数、企业 R&D 项目数的提

升效应更为明显。

从 R&D 活动种类上看,高校 R&D 活动基础科研类别的数量较多,科研机构和企业的 R&D 活动更多为应用研究和实验发展类别。科研机构和企业的 R&D 活动关联度更高,说明相对基础科研类的 R&D 活动,应用研究和实验发展类的 R&D 活动更能提升产学研耦合协调水

平；从 R&D 活动饱和度来看，高校 R&D 活动的饱和度更高，企业和科研机构要进一步提升 R&D 活动的数量，才能更好地承接高校 R&D 活动的成果。

（4）创新产出

创新产出分为成果产出、绩效产出。

从成果产出来看，发明专利拥有量指标的平均关联度高于科技论文指标的平均关联度。表明以发明专利为代表的创新产出对提升产学研耦合协调水平更有影响。科技论文在于科学知识的传播与共享，具有学术性与创新性，主要用于推动人类文明的进步。发明专利往往与应用技术息息相关，主要保护受益人的经济权力，推动经济发展。研究表明，以应用为目标、与经济利益结合的成果产出更有利于产学研耦合协调水平的提高，特别是作为科技论文与发明专利双产出大户的高校，发明专利拥有率指标关联度高于科技论文指标关联度，证明了以应用为目标成果产出影响效应更大。

从绩效产出来看，湖北高新技术产业中规模以上工业产值占全省规模以上工业产值比重指标的关联度最高，其次是新产品销售收入占主营业务收入的比重指标，技术合同成交额指标的关联度最低。这表明，表征技术性、创新性的绩效产出，更能影响湖北产学研耦合协调水平的提升。高新技术产业作为高新技术企业的集合，其绩效是高新技术企业绩效的集中体现；新产品作为在性能、设计、结构、材质、工艺等某一方面有所突破或较原产品有明显改进的产品，其销售收入体现了技术创新的市场实现性，反映出企业参与产学研合作创新需求和能力。技

术合同成交额主要作为企业之间技术交流能力的体现，对产学研耦合协调水平影响较小，说明在产学研耦合协调中企业对高校、科研机构的技术吸收能力可能更为关键。

4.4 基于创新子系统的产学研耦合协调度影响因素分析

产学研创新系统由企业、高校、科研机构三大创新子系统组成，三大子系统产学研耦合协调影响因素关联度排序表见表 5。分别以三大创新子系统为研究对象，对系统内部产学研耦合协调度影响因素展开分析，以找出每个子系统内部的重要影响因素。

从关联度排名前十的影响因素来看，企业创新子系统对湖北产学研耦合协调水平的整体影响最为活跃，排名前十的影响因素中，企业子系统占 40%，高校占 30%，科研机构占 30%；且企业 R&D 经费内部支出是所有指标中影响作用最大的指标，关联度得分远高于其他指标，而影响作用最小的指标技术输出合同成交额也出自企业创新子系统。

（1）企业创新子系统

在湖北企业创新子系统中，关联度排名前三的指标分别是 R&D 经费内部支出、仪器设备支出、R&D 项目数，表明企业的资金和设备投入对产学研耦合协调发展水平影响最大，企业是产学研合作的投入主体。企业 R&D 项目数是企业追求、强化技术创新主体地位的体现，企业技术创新能力强，就能承载更多科技成果转化，开展更高质量的产学研合作，与产学研耦合协调度正向相关性很高，其对产学研耦合协调水平的提升效应仅次于资金和设备的直接投入。

表 5 按创新子系统划分的产学研耦合协调影响因素关联度排序表

类别	指标	关联度
企业	R&D经费内部支出(万元)	0.940 844 499
	仪器设备支出(万元)	0.886 845 967
	R&D项目数(个)	0.854 998 064
	高新技术产业中规模以上工业产值占全省规模以上工业产值的(%)	0.840 588 475
	R&D人员全时当量(人年)	0.825 012 647
	发明专利拥有量(个)	0.818 436 864
	新产品销售收入占主营业务收入的比重(%)	0.811 596 442
	高新技术企业数(个)	0.779 732 338
	技术输出合同成交额(万元)	0.595 357 834
	高校	仪器设备支出(万元)
R&D经费内部支出(万元)		0.841 626 718
发明专利拥有量(个)		0.815 731 462
R&D项目数(个)		0.814 170 089
R&D人员全时当量(人年)		0.791 989 392
普通高校数(个)		0.787 748 918
科技论文(篇)		0.787 408 022
科研机构	仪器设备支出(万元)	0.866 075 87
	R&D项目数(个)	0.860 834 384
	R&D经费内部支出(万元)	0.850 831 369
	科技论文(篇)	0.803 489 143
	R&D人员全时当量(人年)	0.803 221 92
	发明专利拥有量(个)	0.783 659 008
	科研机构数(个)	0.767 741 546

(2) 高校创新子系统

在湖北高校创新子系统中, 关联度排名前三的指标分别是仪器设备支出、R&D经费内部支出、发明专利拥有量。仪器设备支出是高校开展产学研活动的物质基础, 是高技术含量科技成果研究与开发的重要前提, 对产学研耦合协调发展水平的影响最大。R&D经费内部支出关联度排名第二, 表明在当前阶段, 资金投入是高校在产学研合作中发挥作用的重要影响和推动因素。发明专利拥有量关联度排名第

三, 表明发明专利作为高校技术创新的重要指标, 是高校创新子系统在产学研合作中自身科研实力的体现, 对产学研耦合协调水平具有较大影响。

(3) 科研机构创新子系统

在湖北科研机构创新子系统中, 关联度排名前三的指标依次是仪器设备支出、R&D项目数、R&D经费内部支出。科研机构最主要的社会功能就是研究与开发, 仪器设备作为研究与开发的必要前提, 是决定科研机构技术创新水

平的物质基础,影响着科研机构在产学研中的参与性与侧重性,是科研机构相关指标中对产学研耦合协调水平影响最大的因素。R&D项目数关联度排名第二,表明科研机构技术能力要通过创新活动的开展来提升与巩固,再一次验证了技术创新能力是科研机构在产学研合作中的立身之本。R&D经费内部支出关联度排名第三,表明资金投入是当前科研机构在产学研合作中发挥作用的重要推动因素。

5 对策建议

(1) 加大研发资金投入力度,进一步突破资金对技术创新的“瓶颈”约束。研究发现,提高以R&D经费内部支出为代表的资金投入对提升湖北产学研耦合协调水平具有突出影响。一方面,产学研各方自身应重视对技术创新的研发投入;另一方面,政府可以增加财政对产学研合作的投入,设立产学研合作专项资金、科技成果转化资金以及科技成果转化奖励资金,实现对产学研合作创新的多重支持。此外,还可推动银行等金融机构设立专窗,为开展产学研合作提供更多贷款支持。

(2) 发挥仪器设备平台优势,进一步推进科研基础设施和仪器设备的开放共享。研究发现,仪器设备作为产学研合作活动中重要的物质条件,对湖北产学研耦合协调发展具有十分重要的意义。鼓励企业、高校、科研机构增加以仪器设备为代表的物质投入,进一步推进基础设施和仪器设备向社会全面开放,共享共用,能有效提升科技资源的使用效益,更好地促进产学研协同创新。

(3) 增加开展研发活动数量,进一步实现研发生产良性循环的创新发展模式。研究发现,相对基础研发类的R&D活动,应用研究和实验发展类的R&D活动对产学研耦合协调发展影响更大。为应对技术革新和产品升级换代,企业应重视自身技术创造能力的培育和储备,增强高层次或跨越式的工艺创新和产品创新能力,形成研发生产的良性循环。科研机构也应进一步激活技术源头,积极开展应用研究和实验发展类的研发活动,从而在产学研合作中发挥更大作用。

(4) 持续提升市场竞争实力,进一步加强以发明专利为代表的成果产出水平。研究发现,以发明专利为代表的创新产出对提升湖北产学研耦合协调水平更有影响。高校作为产学研合作的主要技术提供方,应在研发活动中加大专利的创造与运营力度,强化对成果新颖性、创造性的确认和对经济收益权的确认,为成果转化和产学研合作利益分配问题提供法律框架下的解决机制。

(5) 探索产学研合作新路径,进一步促进不同创新主体的有效聚集整合。研究发现,创新发展新思路,进行体制机制改革,比单纯追求创新主体的数量增加更适合湖北现有产学研耦合协调水平的提升。探索产学研合作创新模式,以管理创新和机制创新促进技术创新,充分发挥企业在市场需求把握和技术转化方面的优势,和高校和科研机构在人才、学科、创新成果等方面的资源优势,通过共建工业技术研究院、组建产业创新战略联盟、共享科研设备等多种形式开展协同创新。建设新技术产业园区、新型孵化载体,建立科技成果转化公共服

务平台、创新科技成果转化机制,增强企业对高校、科研机构的技术吸收能力,有效提升产学研合作水平。

(6) 大力实施科技人才战略,进一步提升企业经营者和科技人员的素质。研究发现,在现阶段以 R&D 人员全时当量为代表的人力投入相对充足的情况下,还需充分发掘现有科技人员的潜能,提高创新效率。应制定具有竞争力的人才激励计划,鼓励以知识产权等无形资产入股,优化人才成长环境,激发人才创新活力。

参考文献

- [1] 杨朝英. 科技、经济为何两张皮 [N]. 人民政协报, 2014-03-25 (3).
- [2] 彭新一, 王春梅. 区域高校科技创新能力与经济发展水平耦合协调研究 [J]. 科技管理研究, 2018(3):148-155.
- [3] 胡慧玲. 产学研协同创新系统耦合机理分析 [J]. 科技管理研究, 2015(6):26-29.
- [4] Grimpe C, Hussinger K. Formal and Informal Knowledge and Technology Transfer from Academia to Industry: Complementarity Effects and Innovation Performance [J]. *Industry & Innovation*, 2013, 20(8):683-700.
- [5] 赵喜仓, 李冉, 吴继英. 创新主体与区域创新体系的关联机制研究 [J]. 江苏大学学报: 社会科学版, 2009, 11(21):68-72.
- [6] 李成龙, 刘智跃. 产学研耦合互动对创新绩效影响的实证研究 [J]. 科研管理, 2013, 34(3):23-29.
- [7] 熊建新, 陈端吕, 彭保发, 等. 洞庭湖区生态承载力系统耦合协调度时空分异 [J]. 地理科学, 2014, 34(9):1108-1116.
- [8] 盛彦文, 马延吉. 区域产学研创新系统耦合协调度评价及影响因素 [J]. 经济地理, 2017(37):18.
- [9] Vefic L. The penguin dictionary of physics [M]. Beijing: Foreign Language Press, 1996.
- [10] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析 [J]. 自然资源学报, 2005, 20(1):105-112.
- [11] Hoegl M, Georg H, Gemuenden. Teamwork Quality and the Success of Innovative Projects: A theoretical Concept and Empirical Evidence [J]. *Organization Science*, 2001, 12(4):435-449.
- [12] 李成龙, 秦泽峰. 产学研合作组织耦合互动对创新绩效影响的研究 [J]. 科学管理研究, 2011, 29(2):100-103.
- [13] George G, Zahra S A, Wood D R. The effects of business university alliances on innovative output and financial performance: a study of publicly traded biotechnology companies [J]. *Journal of Business Venturing*, 2002(17):577-609.
- [14] 单海燕, 杨君良. 长三角区域生态经济系统耦合协调演化分析 [J]. 统计与决策, 2017(24):128-133.
- [15] 王伟, 孙雷. 区域创新系统与产业转型耦合协调度分析——以铜陵市为例 [J]. 地理科学, 2016, 36(2):204-212.
- [16] 张旺, 周跃云, 胡光伟. 超大城市“新三化”的时空耦合协调性分析——以中国十大城市为例 [J]. 地理科学, 2013, 33(5):562-569.
- [17] 张丽琨, 刘晓丽. 城市创新绩效影响因素的灰色关联分析 [J]. 科技管理研究, 2014(1):231-233.
- [18] 田民, 刘思峰, 卜志坤. 灰色关联度算法模型的研究综述 [J]. 统计与决策, 2008(1):24-27.
- [19] 肖田野, 罗广宁, 陈丹华. 区域科技创新与经济发展耦合协调度研究——以广东为例 [J]. 科技管理研究, 2017, 37(15):21-28.
- [20] 楚天都市报. 湖北高校发明专利排行榜发布 华科去年总量过千摘冠 [EB/OL]. (2016-01-27)[2016-01-27]. <http://news.cnhan.com/html/hubei/20160127/508453.htm>.
- [21] 湖北省科学技术厅. 2017 湖北省科技发展报告 [R]. 武汉: 湖北省科技厅, 2018:6-9.