

两阶段视角下中国高校科技创新效率的溢出效应研究

朱恬恬, 卢雅华, 张跃军

摘要: 我国高校之间教育资源配置不平衡, 加上互动频繁, 导致各高校科技创新效率存在差异, 且可能有溢出现象, 但尚未受到关注。为此, 本文基于 2007—2018 年中国 27 个省份的数据, 将高校科技创新过程划分为知识创新和成果转化两个相互关联的子阶段, 然后利用两阶段 DEA 方法测算高校科技创新整体效率、知识创新效率以及成果转化效率, 并构建空间杜宾模型估计高校科技创新效率的空间溢出效应及其影响因素。结果表明: 第一, 在样本期间内, 总体上我国高校成果转化效率高于知识创新效率, 但它们的效率水平由高到低的地区分布均为: 西部-东部-中部。第二, 高校之间科技创新整体效率和知识创新效率的空间溢出效应较弱, 而成果转化效率具有明显的空间溢出效应。第三, 高校知识创新效率尚未对成果转化效率产生明显的空间溢出效应。最后, 产学研合作程度的提高促进了周边地区知识创新效率的提高, 但未对成果转化效率产生明显的空间溢出效应。

关键词: 高校; 科技创新效率; 两阶段 DEA 方法; 溢出效应

中图分类号: G649.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2021)02-0130-13

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2021.02.012

一、引言

我国正不遗余力地从国家战略层面推动高校科技创新的发展, 以实现高等教育强国目标, 加速转变经济发展方式。2018 年 8 月, 教育部、财政部和国家发展改革委印发《关于高等学校加快“双一流”建设的指导意见》, 强调加大技术创新和成果转化力度, 促进产学研精准对接。2020 年 12 月 9 日, 教育部召开 2020 年全国高校科技工作会, 强调高校要充分发挥优势, 以科技创新支撑服务高质量发展, 主动为国家和民族的发展出力争光。对于处在转型经济时期的中国而言, 关注提高高校科技创新效率对“双一流”建设的贡献, 而不是仅仅考虑增加科技创新投入或产出, 有利于优化高等教育资源配置, 助力高校科技创新可持续、高质量发展。

现有相关研究大多将高校科技创新过程视为一个“黑匣子”, 不考虑其内部结构, 只探讨高校科技创新过程的整体效率^{[1][2]}, 而忽视了科技创新活动的阶段性特征, 不利于识别科技创新过程中

基金项目: 国家自然科学基金项目“高校教育资源配置效率模型及其应用研究”(71704050); 湖南省教育科学“十三五”规划课题“高校创新创业教育课程建设策略研究”(XJK016BGD010); 湖南省教育厅学位与研究生教改项目“新商科背景下研究型大学商学人才培养模式创新及对策”(2020JGZD018)

作者简介: 朱恬恬, 管理学博士, 湖南大学教育科学研究院副教授, ztt_bnu@126.com (湖南长沙 410082); 卢雅华, 湖南大学教育科学研究院研究生; 张跃军, 管理学博士, 湖南大学工商管理学院教授、博士生导师

的薄弱环节。实际上, 高校科技创新过程可以视为由内部子过程组成的“链式”结构, 科技创新过程不仅仅涉及理论创新成果, 更重要的是掌握将知识和技术转化为社会价值的方式^[3]。因此, 本文参考 Qin 等^[4]创新价值链理论, 将我国高校科技创新划分为知识创新和成果转化两个相互关联的子阶段。具体而言, 知识创新阶段主要检验创新参与者是否可以有效利用资金和人力资源发展新的研究和学术成果, 成果转化阶段主要检验创新参与者是否可以利用其专利和技术创造新的社会和经济价值。同时, 知识创新阶段的产出可以视为一种连接中介, 即将知识创新阶段的产出视为成果转化阶段的中间投入, 并通过成果转化过程创造最终的经济价值。

而且, 以往文献大多只关注高校知识溢出或创新产出的空间溢出效应^{[5][6][7]}, 鲜有研究考虑高校科技创新效率是否具有空间溢出效应。高校科技创新效率主要指在一段时期内, 高校科技创新过程中投入与产出之间的对比关系, 其不仅能体现高校将一系列投入转化为产出的能力, 还能反映科技创新资源是否得到合理配置。科技创新效率溢出主要是指某一创新主体科技创新效率的变化会对其他创新主体的科技创新效率产生影响^[8]。科技创新溢出是知识溢出在创新活动中的具体体现, 科技创新效率溢出是科技创新溢出结果化的表现形式^{[8][9]}。实际上, 高校之间的科技创新效率同样具有潜在的外部性特征, 首先, 高校作为科技创新领域的重要组成部分, 是推动国家创新驱动发展的主力军, 但是由于教育资源配置不平衡, 导致各高校之间科技创新效率水平存在差异, 呈现出明显的空间失衡特征^[10]。其次, 高校科技创新可以通过衍生产品、劳动力的流动和非正式的知识交流等途径传导至邻近区域^{[11][12]}, 因此, 提升高校科技创新效率不仅取决于各区域自身条件的改变, 还与外部环境息息相关。此外, 既有研究发现, 高校科技创新过程中也存在很高的相似性, 并且高校之间的交流合作以及产学研协同创新体制有助于推动高校科技创新效率的相互溢出效应^{[13][14]}。

高校科技创新效率的溢出效应不仅会发生在区域之间, 还会发生在知识创新阶段和成果转化阶段之间^[15], 所以仅考虑溢出的空间维度难以全面反映高校科技创新效率溢出过程, 有必要探究不同阶段之间高校科技创新效率的溢出效应。同时, 有必要探究高校科技创新效率与其他要素的空间交互影响, 探索提高我国高校科技创新效率的有效途径。综上所述, 本文将基于高校科技创新整体效率和两阶段效率, 运用空间计量模型分析我国高校科技创新效率整体溢出效应与分阶段溢出效应, 在此基础上, 进一步探讨影响高校科技创新效率溢出的关键因素。

本文的研究贡献主要包括两个方面: 第一, 突破了整体效率评价的局限性, 本文将高校科技创新划分为知识创新和成果转化两个子阶段并构建两阶段 DEA 模型评价其效率, 规避了传统单阶段 DEA 模型测量效率的缺陷。第二, 更新了高校溢出效应研究的内容, 以往相关研究往往只关注高校知识溢出或创新产出的空间溢出效应, 而本文揭示了高校科技创新效率的潜在溢出效应及其阶段性特征。

二、文献综述

评价高校教学科研效率的方法主要是随机前沿分析 (SFA) 和数据包络分析方法 (DEA)^{[16][17][18]}。由于高校科技创新活动具有多投入和多产出的复杂特性, 所以 DEA 方法得到了更为广泛的运用。例如, Johnes^[19]利用 DEA 模型分析英国高校的教学效率, 指出学生的个人努力与机构的效率对教学效率具有一定影响。Yaisawarng 等^[20]采用 Malmquist 指数评估中国实施“211”工程对 112 所高校科研效率的影响, 发现管理效率低下会导致科研效率下降。罗杭等^[21]利用超效率 DEA 模型对中国“985”高校教学和科研效率进行评价, 结果表明总体科研效率较低。但是, 传统的单阶段 DEA 模型没有考虑高校科技创新活动的内部结构, 忽略了高校科技创新活动的阶段性特征及其内部子过程中的低效率环节^{[22][23]}。实际上, 如前所述, 高校科技创新过程不是简

单的单阶段生产过程，而是由具有中间产出的内部子过程组成的“链式”结构，因此，传统研究思路和方法得到的结果可能有偏误。

同时，考虑到科技创新过程的复杂性，许多学者强调了科技创新过程中不同阶段的关联性。例如，Guan 等^[24]分析中国高科技产业创新效率，将其划分为研发阶段和商业化阶段并测算效率，发现总体效率与两阶段效率存在差异。赵增耀等^[25]将中国区域创新划分为知识创新和产品创新两个阶段，指出创新效率在不同阶段之间存在显著的主从关联。余泳泽等^[26]分析中国区域创新效率的外溢效应，将创新过程分为知识创新、科研创新和产品创新三个阶段，发现三个阶段的效率之间存在明显的价值链溢出效应。这些研究思路为本文考虑高校科技创新效率的阶段特征提供了重要启发。

在高校科技创新溢出效应研究方面，学者们大多关注高校知识溢出或创新产出的溢出效应。例如，Ponds 等^[27]研究发现荷兰高校知识溢出对区域创新的影响是由地理邻近度和产学研合作网络引起的。Li 等^[28]研究指出中国高校对企业创新具有正向溢出效应，并且其溢出效应随着公司与高校之间空间距离的增加而减弱。胡曙虹等^[7]从中国省域层面探讨了高校创新产出的空间溢出效应及其对区域经济增长的影响，发现高校创新产出的溢出效应能够显著促进区域经济增长。然而，鲜有研究对高校科技创新效率的溢出效应进行探究。

归结起来，现有相关文献中鲜有研究对高校科技创新的过程进行分阶段理解，缺乏分阶段阐释高校科技创新效率的变化规律，不利于发现高校科技创新过程中的薄弱环节。同时，较少文献考虑高校科技创新效率的空间溢出效应，忽视了不同高校之间科技创新的关联性。鉴于此，本文从高校科技创新的实际特征出发，将高校科技创新划分为知识创新和成果转化两个子阶段，并利用两阶段 DEA 模型测算整体效率与两阶段效率，然后构建空间计量模型对高校科技创新效率的空间溢出效应进行分析，深入探讨知识创新效率与成果转化效率之间的内在影响机制。

三、数据说明与模型方法

（一）数据说明

1. 投入产出指标。本文知识创新阶段的投入指标主要从人力资本和经济资本角度出发，选取了基础研究和应用基础 R&D 当年全时人员、基础研究和应用基础 R&D 当年经费支出，产出指标为科技著作出版数、学术论文发表数和专利授权数。

本文将知识创新阶段的全部产出视为成果转化阶段的部分投入，同时，成果转化阶段的投入指标还选取了试验发展 R&D 当年全时人员和试验发展 R&D 当年经费支出，而产出指标为科技课题数、技术转让收入和成果授奖数。

考虑到创新投入到产出存在时滞性，参考相关文献^{[13][26]}，本文将科技创新产出相应延迟一年。对应年份和具体指标说明如表 1 所示。

2. 控制变量选取。高校科技创新活动不仅会受到内部因素影响，还会受到外部环境影响，因此，为了探究相关因素对我国高校科技创新效率溢出效应的影响，本文设置了控制变量，具体解释如表 2 所示。

（1）政府资金支持是高校进行科技创新活动的主要经费来源，对高校科技创新效率具有重要影响^{[13][29]}，本文采用高校科技经费中政府资金所占比重表示政府支持。

（2）高等教育发展水平可以反映一个地区的人力资本水平，人力资源是提升高校科技创新效率的重要依托，科技创新活动中知识的生产、传播及成果转化很大程度上依赖于人才的创新能力，本文采用各地区平均每十万人人口中高校的在校生人数表示高等教育发展水平。

表 1 指标说明

指标	时间区间	指标含义	单位
知识创新阶段投入	2007—2016	基础研究和应用基础 R&D 当年经费支出	千元
		基础研究和应用基础 R&D 当年全时人员	人年
知识创新阶段产出/成果转化阶段投入	2008—2017	科技著作出版数	篇
		学术论文发表数	篇
		专利授权数	件
成果转化阶段投入	2008—2017	试验发展 R&D 当年经费支出	千元
		试验发展 R&D 当年全时人员	人年
成果转化阶段产出	2009—2018	科技课题数	项
		技术转让收入	千元
		成果授奖数	项

表 2 控制变量说明

符号	变量	含义
<i>Gov</i>	政府支持	高校科技经费中政府资金所占比重
<i>Edu</i>	高等教育发展水平	各地区每十万人中平均高校的在校生人数
<i>Exp</i>	人均科研经费	知识创新阶段: 高校研究与发展项目当年支出经费/当年全时人员 成果转化阶段: 高校 R&D 成果应用及科技服务项目经费/当年全时人员
<i>UIC</i>	产学合作程度	高校科技经费中企业资金所占比例
<i>Fix</i>	经费支出偏向性	高校固定资产购置费占科技经费内部支出的比重

(3) 人均科研经费可以度量科研经费的投入对科技创新效率的影响^[26], 本文选取高校研究与发展项目当年支出经费与当年全时人员的比值表示知识创新阶段的人均科研经费, 并选取高校 R&D 成果应用及科技服务项目经费与当年全时人员的比值表示成果转化阶段的人均科研经费。

(4) 产学合作程度可以衡量区域间的科技创新合作水平, 探索科技创新资源在区域间的共享互补性^[30], 是影响科技创新效率的重要指标, 本文选取高校科技经费中企业资金所占比例表示产学合作程度。

(5) 经费支出偏向性在本文中指的是高校固定资产购置费占科技经费内部支出的比重, 高校固定资产购置费包括设备投入、仪器采购和实验室建设等。

3. 数据来源。本文对 2007—2018 年我国 27 个省份高校科技创新效率的溢出效应进行分析, 由于海南、西藏、宁夏、青海 4 个省份的部分数据缺失, 所以暂时不予考虑。全国各省高校的统计年鉴数据如经费支出、科研人员、学术论文发表数量等在统计数据的口径、范围、计算标准等方面一致, 不同省份之间的科技创新数据具有可比性。本文基础数据来源于 2008—2019 年《高等学校科技统计资料汇编》《中国科技统计年鉴》和《中国统计年鉴》。

(二) 模型方法

1. 两阶段 DEA 模型。为了充分考虑各省市高校科技创新过程的内部结构, 本文参考 Guan 等^[31], 构建两阶段 DEA 模型对两阶段的高校科技创新效率进行测算。假设各省市高校知识创新阶

段具有 m_1 个投入、 $X_{i,j}$ 和 s_1 个产出 $Y_{r_1,j}$, 成果转化阶段具有 m_2 个投入、 $X_{i_2,j}$ 和 s_2 个产出 $Y_{r_2,j}$, 其中, 有 q 个中间产出 $Z_{p,j}$ ($p=1, 2, \dots, q$)。假设规模报酬不变, 构建模型 (1) 测算第 k 个省市高校的整体科技创新效率:

$$\begin{aligned}
 E_k &= \max \sum_{r_1=1}^{s_1} u_{r_1} Y_{r_1,k} + \sum_{r_2=1}^{s_2} u_{r_2} Y_{r_2,k} + \sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,k} \\
 s. t. & \sum_{i_1=1}^{m_1} v_{i_1} X_{i_1,k} + \sum_{i_2=1}^{m_2} v_{i_2} X_{i_2,k} + \sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,k} = 1 \\
 & (\sum_{r_1=1}^{s_1} u_{r_1} Y_{r_1,j} + \sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,j}) - \sum_{i_1=1}^{m_1} v_{i_1} X_{i_1,j} \leq 0 \\
 & \sum_{r_2=1}^{s_2} u_{r_2} Y_{r_2,j} - (\sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,j} + \sum_{i_2=1}^{m_2} v_{i_2} X_{i_2,j}) \leq 0 \\
 & u_{r_1}, u_{r_2}, v_{i_1}, v_{i_2}, \omega_p \geq \epsilon, j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{1}$$

另外, 若 E_k 可以得到最优解, 则利用上述公式计算两个子阶段的效率值 E_k^1 和 E_k^2 , 将整体科技创新效率进一步分解, 如模型 (2) 和 (3) 所示:

$$\begin{aligned}
 E_k^1 &= \max \sum_{r_1=1}^{s_1} u_{r_1} Y_{r_1,k} + \sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,k} \\
 s. t. & \sum_{i_1=1}^{m_1} v_{i_1} X_{i_1,k} = 1 \\
 & (\sum_{r_1=1}^{s_1} u_{r_1} Y_{r_1,k} + \sum_{r_2=1}^{s_2} u_{r_2} Y_{r_2,k} + \sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,k}) \\
 & \quad - E_k (\sum_{i_1=1}^{m_1} v_{i_1} X_{i_1,k} + \sum_{i_2=1}^{m_2} v_{i_2} X_{i_2,k} + \sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,k}) = 0 \\
 & (\sum_{r_1=1}^{s_1} u_{r_1} Y_{r_1,j} + \sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,j}) - \sum_{i_1=1}^{m_1} v_{i_1} X_{i_1,j} \leq 0 \\
 & \sum_{r_2=1}^{s_2} u_{r_2} Y_{r_2,j} - (\sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,j} + \sum_{i_2=1}^{m_2} v_{i_2} X_{i_2,j}) \leq 0 \\
 & u_{r_1}, u_{r_2}, v_{i_1}, v_{i_2}, \omega_p \geq \epsilon, j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 E_k^2 &= \max \sum_{r_2=1}^{s_2} u_{r_2} Y_{r_2,k} \\
 s. t. & (\sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,k} + \sum_{i_2=1}^{m_2} v_{i_2} X_{i_2,k}) = 1 \\
 & (\sum_{r_1=1}^{s_1} u_{r_1} Y_{r_1,k} + \sum_{r_2=1}^{s_2} u_{r_2} Y_{r_2,k} + \sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,k}) \\
 & \quad - E_k (\sum_{i_1=1}^{m_1} v_{i_1} X_{i_1,k} + \sum_{i_2=1}^{m_2} v_{i_2} X_{i_2,k} + \sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,k}) = 0 \\
 & (\sum_{r_1=1}^{s_1} u_{r_1} Y_{r_1,j} + \sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,j}) - \sum_{i_1=1}^{m_1} v_{i_1} X_{i_1,j} \leq 0 \\
 & \sum_{r_2=1}^{s_2} u_{r_2} Y_{r_2,j} - (\sum_{p=1}^q \omega_p Z_{p,k} + \sum_{i_2=1}^{m_2} v_{i_2} X_{i_2,j}) \leq 0 \\
 & u_{r_1}, u_{r_2}, v_{i_1}, v_{i_2}, \omega_p \geq \epsilon, j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{3}$$

2. 空间权重矩阵构建。常见的空间权重矩阵有空间邻接矩阵和地理距离空间权重矩阵, 但是高校科技创新过程不可避免地会受到多种非地理邻近因素的影响, 若仅考虑地理邻近的空间联系, 则测算结果与实际会存在一定偏差^[19]。因此, 本文参考 Feng 等^[32]的做法, 采用考虑经济特征的嵌套空间权重矩阵, 如方程 (4) 所示:

$$W = W_d \text{diag} (\bar{Y}_1/\bar{Y}, \bar{Y}_2/\bar{Y}, \dots, \bar{Y}_n/\bar{Y}) \tag{4}$$

其中, W_d 为地理距离空间权重矩阵, 对角元素 $\bar{Y}_i = 1/(t_1 - t_0 + 1) \sum_{t_0}^{t_1} Y_{it}$ 为样本期间内省份 i 在各

年份的 GDP 均值, $\bar{Y} = 1/n(t_1 - t_0 + 1) \sum_{i=1}^n \sum_{t_1}^{t_0} Y_{it}$ 为样本期间内所有省市的 GDP 均值。

3. 空间自相关检验。空间自相关检验主要是考察各省市高校科技创新效率是否存在空间依赖性, 本文采用全局莫兰指数进行检验, 具体计算如方程 (5) 所示:

$$Moran's I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

其中, x_i 表示第 i 个区域变量, W_{ij} 表示空间权重矩阵。全局莫兰指数的取值范围为 $[-1, 1]$ 。如果莫兰值大于 0, 表示正的空间自相关; 莫兰值小于 0, 表示负的空间自相关; 莫兰值等于 0, 则表示随机空间分布。

4. 空间相关模型。常见的空间相关模型包括空间滞后模型 (SAR)、空间误差模型 (SEM) 和空间杜宾模型 (SDM)。为了确定选取哪种空间计量模型更合适, 首先, 本文使用拉格朗日乘数 (LM) 及其稳健性 (Robust) 检验判断 SAR 模型和 SEM 模型是否比 SDM 模型更适合, 结果表明应选择 SDM 模型; 其次, 由于 SDM 可以将其以受限形式解释为 SAR 模型或 SEM 模型, 因此需进一步采用 LR 检验判断 SDM 模型是否会简化成 SAR 和 SEM 模型, 结果表明应选择 SDM 模型; 最后, Hausman 检验结果表明应选取固定效应模型。因此, 最终选择固定效应的空间杜宾模型。

为了全面反映高校科技创新效率的溢出过程, 本文将两阶段间的溢出纳入高校科技创新效率的空间溢出模型, 设定的 SDM 模型为:

$$\ln GEN_{it} = \rho W \ln GEN_{it} + \beta_1 \ln Gov_{it-1} + \theta_1 W \ln Gov_{it-1} + \beta_2 \ln Edu_{it-1} + \theta_2 W \ln Edu_{it-1} + \beta_3 \ln Exp_{it-1} + \theta_3 W \ln Exp_{it-1} + \beta_4 \ln UIC_{it-1} + \theta_4 W \ln UIC_{it-1} + \beta_5 \ln Fix_{it-1} + \theta_5 W \ln Fix_{it-1} + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (6)$$

$$\ln CRE_{it} = \rho W \ln CRE_{it} + \alpha_1 \ln CON_{it} + \alpha_2 W \ln CON_{it} + \beta_1 \ln Gov_{it-1} + \theta_1 W \ln Gov_{it-1} + \beta_2 \ln Edu_{it-1} + \theta_2 W \ln Edu_{it-1} + \beta_3 \ln Exp_{it-1} + \theta_3 W \ln Exp_{it-1} + \beta_4 \ln UIC_{it-1} + \theta_4 W \ln UIC_{it-1} + \beta_5 \ln Fix_{it-1} + \theta_5 W \ln Fix_{it-1} + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (7)$$

$$\ln CON_{it} = \rho W \ln CON_{it} + \alpha_1 \ln CRE_{it} + \alpha_2 W \ln CRE_{it} + \beta_1 \ln Gov_{it-1} + \theta_1 W \ln Gov_{it-1} + \beta_2 \ln Edu_{it-1} + \theta_2 W \ln Edu_{it-1} + \beta_3 \ln Exp_{it-1} + \theta_3 W \ln Exp_{it-1} + \beta_4 \ln UIC_{it-1} + \theta_4 W \ln UIC_{it-1} + \beta_5 \ln Fix_{it-1} + \theta_5 W \ln Fix_{it-1} + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (8)$$

其中, GEN_{it} 、 CRE_{it} 和 CON_{it} 分别表示整体效率、知识创新效率和成果转化效率, W 为空间权重矩阵, 变量乘以 W 表示其空间滞后项, μ_i 代表个体效应, ϵ_{it} 代表残差。

四、实证结果分析

(一) 科技创新效率测算结果分析

根据模型 (1)–(3), 计算得出样本期间内我国各省份高校科技创新整体和两阶段的效率值, 对我国各省份高校的科技创新效率进行分析, 结果如表 3 所示。

可以发现, 一方面, 样本期间, 我国高校科技创新效率整体上有所下降, 而且总体上高校成果转化效率高于知识创新效率。结果表明, 我国高校科技创新整体效率、知识创新效率和成果转化效率的均值分别为 0.8197、0.7155 和 0.8683, 高校科技创新整体效率小于 1, 而且成果转化效率高于知识创新效率, 说明高校整体科技创新效率的提高主要依赖成果转化效率, 该结果显示我国政府一直以来强调的产学研合作政策对高校科技成果转化产生了积极作用^{[33][34]}, 高校与企业之间的密

切合作也在一定程度上带动了成果转化效率的提升。例如,2016—2019年,高校服务产业、企业和社会需求获得的横向科研经费总额超过2100亿元,2019年,全国高校签订技术转让合同1.3万项,较2016年增长45.1%,合同总金额67.5亿元,较2016年增长34.3%^[35]。值得注意的是,部分高教大省(例如江苏和湖北)的成果转化效率和知识创新效率的差异却不明显,主要原因可能在于江苏和湖北知识创新产出较高,2010年江苏省专利申请量和授权量分别达23.6万件和13.8万件,均居全国首位^[36],并且都高度重视对高校科研成果的奖励^{[37][38]}。

表3 我国各省份高校整体效率和两阶段效率

省份	整体	知识创新	成果转化	省份	整体	知识创新	成果转化
北京	0.8771	0.5108	1.0000	河南	0.9965	1.0000	0.7213
天津	0.4754	0.4010	0.6881	湖北	0.7314	0.7131	0.7426
河北	0.9885	0.8698	0.9782	湖南	0.7569	0.6563	0.8050
山西	0.8444	0.6346	0.9014	广东	0.7310	0.6516	0.8628
内蒙古	0.9636	0.9556	0.9609	广西	0.8732	0.8356	0.9347
辽宁	0.6104	0.5037	0.7941	重庆	0.8511	0.7778	0.8586
吉林	0.6710	0.4307	0.9539	四川	0.5700	0.5322	0.7402
黑龙江	0.6788	0.4726	0.8102	贵州	0.9690	0.6950	1.0000
上海	0.6921	0.6186	0.7972	云南	0.9167	0.7915	0.9592
江苏	0.8856	0.8919	0.7802	陕西	0.8407	0.8436	0.7741
浙江	0.9851	0.9588	0.9879	甘肃	0.8538	0.7097	0.8707
安徽	0.8512	0.7110	0.8690	新疆	0.9916	0.9526	0.9920
福建	0.8968	0.6969	0.9822	东部	0.8000	0.6899	0.8703
江西	0.7734	0.7068	0.8477	中部	0.7879	0.6657	0.8314
山东	0.8578	0.7955	0.8323	西部	0.8700	0.7882	0.8989
				均值	0.8197	0.7155	0.8683

而知识创新效率较低的主要原因可能在于各地加大了对科技创新的投入,但是因为教育资源配置不合理,部分科研资源过分集中,且存在科研人员对相关技术进行重复研发的现象^[22],从而导致高校知识创新效率较低。另外,高校类型对高校科技创新效率也具有重要影响。现有研究发现,部分师范类和综合类高校虽然享有盛誉,但是其科技创新效率并不佳^{[13][16]}。因此,可能存在部分高校因偏向于人文社科学科,其在科技创新领域并没有卓越的表现,从而拉低了所在省域的高校知识创新效率。

另一方面,我国高校科技创新整体效率和两阶段效率水平由高到低的地区分布均为:西部-东部-中部。这验证了已有相关研究结果^[16],说明经济发展水平较高的地区,其高校科技创新效率不一定高。相比于东部地区,西部地区高校可能在教育水平和基础设施等方面没有明显优势,但是其积极优化高校创新要素配置,不断完善内部管理机制,使得较少的科技创新资源投入获得了较多的产出。同时,这也说明西部地区高校具有较大的科技创新潜力,而中部地区高校就其投入产出而言,科技创新效率尚待提高。另外,该结果也支持了《关于新时代振兴中西部高等教育的若干意见》的政策导向,应进一步有效激发中西部高校的发展潜力^[39]。

(二) 科技创新效率的溢出效应分析

1. 空间自相关检验结果。根据公式(5),对我国高校科技创新的整体、知识创新效率和成果转化效率进行空间自相关性分析,全局莫兰检验结果如表4所示。

表 4 高校科技创新整体效率和两阶段效率的全局莫兰检验结果

年份	整体		知识创新效率		成果转化效率	
	莫兰值	P 值	莫兰值	P 值	莫兰值	P 值
2007	0.016	0.072*	0.048	0.010**	-0.076	0.159
2008	0.013	0.075*	0.018	0.061*	-0.078	0.140
2009	-0.114	0.288	0.017	0.066*	-0.044	0.440
2010	-0.109	0.299	-0.018	0.290	-0.043	0.450
2011	-0.005	0.403	0.032	0.027**	-0.024	0.350
2012	-0.185	0.134	0.044	0.013**	0.045	0.036**
2013	0.042	0.014**	0.015	0.074*	0.005	0.076*
2014	0.054	0.006***	0.030	0.032**	0.040	0.043**
2015	0.059	0.004***	0.044	0.013**	0.031	0.030**
2016	0.053	0.026**	0.003	0.132	0.021	0.099*

注:***、**和*分别表示估计系数在1%、5%和10%水平下显著。

可以发现,我国高校科技创新整体效率和两阶段效率在大多数年份通过了显著性检验且正相关,说明高校科技创新效率具有明显的空间集聚特征。而且,从2012年到2016年,相比于知识创新效率,成果转化效率的空间相关性较强,表明成果转化效率的空间集聚特征较明显。主要原因可能在于截至2012年我国已建立了69个国家大学科技园^[40],这些科技园不仅成为国家和区域创新体系中的重要组成部分,而且对高校成果转移转化具有集聚辐射和带动作用^[41]。

2. 空间溢出效应分析。根据方程(6)–(8),对我国高校科技创新的整体、知识创新效率和成果转化效率进行空间溢出效应分析。参考相关文献^[42],为了更准确地分析空间杜宾模型中解释变量对被解释变量的影响及其空间溢出效应,本文基于SDM偏微分方法对溢出效应进行分解,将结果进一步分解为直接效应、间接效应和总效应(如表5所示)。

表 5 高校科技创新整体效率和两阶段效率的空间溢出效应估计

解释变量	回归系数	空间滞后项回归系数	直接效应	间接效应	总效应
面板 A: 整体效率					
lnGov	-0.154	-0.229	-0.148	-0.131	-0.279
lnEdu	0.403***	-0.943**	0.411***	-0.844**	-0.433
lnExp	-0.047	0.292**	-0.045	0.240**	0.195**
lnUIC	-0.040	0.183	-0.043	0.175	0.132
lnFix	-0.030	-0.288	-0.026	-0.233	-0.258*
ρ		0.130			
面板 B: 知识创新效率					
lnGov	0.182	1.757*	0.203	2.092*	2.296*
lnEdu	0.810***	-1.676***	0.793***	-1.809***	-1.016*
lnExp	-0.197***	0.464***	-0.188***	0.509**	0.321
lnUIC	0.018	1.324***	0.030	1.556***	1.586***
lnFix	0.037	-0.365	0.036	-0.405	-0.369
lnCON	-0.159***	0.328	-0.154***	0.395	0.240
ρ		0.142			
面板 C: 成果转化效率					
lnGov	0.040	0.147	0.050	0.275	0.325
lnEdu	0.073	0.246	0.077	0.446	0.523
lnExp	0.013	-0.035	0.014	-0.047	-0.033
lnUIC	0.024	0.236	0.032	0.405	0.436
lnFix	-0.037	0.213***	-0.031	0.313**	0.281**
lnCRE	0.011	-0.048	0.013	-0.057	-0.045
ρ		0.356***			

注:***、**和*分别表示估计系数在1%、5%和10%水平下显著。

可以发现，高校科技创新整体效率和知识创新效率的空间滞后项系数（ ρ ）为正但统计上并不显著，说明高校科技创新整体效率和知识创新效率的空间溢出效应较弱，周边地区高校科技创新整体效率和知识创新效率的提升没有对本地区产生显著影响。主要原因在于：首先，高校科技创新知识溢出是高度本地化的，而且高校科技创新知识的溢出更多地取决于知识的可用性^{[43][44]}。其次，高校知识创新产出见效周期较长，其科技创新知识成果并不能被其他创新主体立即消化、吸收和转化，具有一定的阶段性特征^[45]。最后，考虑到科技创新知识的复杂性，涉及较多的隐性知识，从而其向周边地区的外溢和转移速度较慢。正如 Gertler^[46]指出的地理同质性，即偏好与同一地理区域的个体进行互动，对一个地区内的隐性知识转移具有积极作用。因此，周边地区高校科技创新整体效率和知识创新效率的提升未必会显著带动本地区相关效率的提升。

但是，高校成果转化效率具有明显的正向空间溢出效应，表明周边地区高校成果转化效率的提高能够有效带动本地区高校成果转化效率的提高。主要原因在于相比于知识创新阶段而言，成果转化阶段的成效较明显，周边地区高校推进成果转化的努力对本地区产生了积极的“示范效应”。本地区高校在促进成果转化的过程中可能将周边地区视为“榜样”，从而通过模仿其成果转化的成功经验提升自身的成果转化效率^[42]。

从两阶段间的溢出效应看，首先，成果转化效率对知识创新效率的直接效应为显著负向影响，而间接效应未通过显著性检验，说明高校成果转化效率的提高抑制了本地区知识创新效率提高，但对周边地区的知识创新效率没有产生明显的空间溢出效应。这表明随着高校成果转化效率的提高，其科技创新活动会更加注重经济和民生的实际需求^[13]，对知识创新产出质量的把控将进一步提高，不再一味追求产出的数量，从而在一定程度上抑制了本地区知识创新效率的提高。

其次，知识创新效率对成果转化效率的直接效应和间接效应均未通过显著性检验，说明高校知识创新效率的提高对成果转化效率没有产生明显的空间溢出效应。主要原因在于知识创新成果能否成功转化，取决于其市场潜力或经济价值^[26]。而且，为了将知识创新成果成功转化，高校或企业需要投入时间和资源^[47]。因此，知识创新成果并不能立即转化为创新产品或服务。这也支持了近年来国家极力倡导把论文写在祖国大地上和将科技成果转化为现实生产力的政策导向，让更多的科技创新成果在经济和民生需求中体现价值。

在控制变量方面，第一，政府支持增加在一定程度上促进了周边地区知识创新效率的提高，而未对本地区产生明显的空间溢出效应，说明政府支持在知识创新阶段对周边地区起到一定激励作用，会影响周边地区对政府支持的渴求程度。但是，政府支持对本地区的知识创新效率的影响并不显著，主要原因在于目前政府对高校的资金支持尚未得到优化配置和合理利用^[48]。

第二，高等教育发展水平提高有利于本地区知识创新效率和整体科技创新效率的提高，但对周边地区会产生抑制作用，主要原因在于高等教育的发展是知识创造的产物，高素质人才的聚集有助于提高知识创新效率和整体科技创新效率^[48]。但是，高等教育发展水平高的地区往往更容易吸引周边地区人才向该地区集聚以及获得国际交流与合作机会，使更多的前沿知识溢出到本地^[4]，从而抑制周边地区知识创新效率和整体效率的提高。

第三，人均科研经费增加不利于本地区知识创新效率的提高，但对周边地区知识创新效率和整体科技创新效率产生了正向空间溢出效应，主要原因在于科研人员对科研经费没有进行合理配置，从而不利于本地区知识创新效率的提高^[48]。但是，人均科研经费增加在一定程度上会推动区域间的联系，促进知识的传播和转移，调动科研人员的积极性，使得周边地区知识创新效率和整体效率有所提高。

第四，产学合作程度提高促进了周边地区知识创新效率的提高，而未对成果转化效率产生明显的空间溢出效应，说明在知识创新阶段，产学之间的研发合作无形中会给周边地区高校释放相关的

知识需求“信号”,促使周边地区知识创新效率的提高。此外,部分学者指出,企业与高校的合作不仅仅是为了科技创新产品的商业化,更是为了获得经过训练的人才和新兴技术的机会^[49];而在成果转化阶段,相比于科研院所,高校主要从事基础研究而不是应用研究,其研究方向和研发能力与行业或企业实际需求之间还存在一定差距。因此,产学研合作程度提高未必会显著提高成果转化效率,其关键在于能否准确对接或预测行业实际需求,重视产业化的实现。

另外,从经费支出偏向性可以看出,高校固定资产购置费占科技经费内部支出的比重增加有利于周边地区成果转化效率的提高,但未对本地区产生显著影响。主要原因在于大量建设大型实验室和采购设备容易造成本地区生产设备冗余^[26],而周边地区则可以通过共享资源或合作的方式,充分利用资源推动其知识创新成果的应用转化,从而提高成果转化效率。

五、结论与建议

本文基于2007—2018年中国27个省份的数据,将高校科技创新过程划分为两个相互关联的子阶段,即知识创新和成果转化阶段,然后利用两阶段DEA方法测算高校科技创新整体效率与两阶段效率,并采用空间杜宾模型估计高校科技创新效率的空间溢出效应及其关键影响因素,得到主要结论如下:

第一,在样本期间内,总体上我国高校成果转化效率高于知识创新效率,均值分别为0.8683和0.7155。这意味着高校整体科技创新效率的提高主要依赖成果转化效率。另外,我国高校科技创新整体效率和两阶段效率水平由高到低的地区分布均为:西部-东部-中部。

第二,高校科技创新整体效率和知识创新效率的空间溢出效应较弱,说明周边地区高校科技创新整体效率和知识创新效率的提升没有对本地区产生显著影响。而高校成果转化效率具有明显的正向空间溢出效应,表明周边地区高校成果转化效率的提高能够有效带动本地区高校成果转化效率的提高。

第三,高校成果转化效率的提高抑制了本地区知识创新效率提高,但对周边地区的知识创新效率没有产生明显的空间溢出效应。同时,高校知识创新效率的提高尚未对成果转化效率产生明显的空间溢出效应。

第四,产学研合作程度提高促进了周边地区知识创新效率的提高,而未对成果转化效率产生明显的空间溢出效应,表明产学研合作程度对两阶段效率溢出效应的影响有所差异。

基于上述研究结论,本文为我国教育主管部门提出如下建议:首先,充分发挥高校科技创新效率的溢出效应,促进区域间高校的实质性学术交流与资源共享,深化区域教育协作。其次,注重高校科技知识创新的实际价值,尤其是在基础和应用研究领域,需要增强关键核心技术攻关能力,引导科研工作更多地从应用本身出发,使科技创新致力于满足人民和国家重大战略需求,通过改革高校科研人员绩效考核机制,激励科研人员将论文写在祖国大地上。最后,深化产学研合作,重视其对两阶段效率溢出效应的影响,着力打通科研与产业发展之间的通道,促进高校科研与经济紧密结合、创新成果与产业发展紧密对接。而且,不仅要注重高校与产业界之间的交流合作,也要加强高校与科研院所的交流与联系,共同建设科技创新成果转化与孵化基地,释放高校基础研究潜力,切实提高高校科技应用研究能力,推动高校科技创新效率提升。

参考文献

- [1] Agasisti, T., C. Perez-Esparrells. Comparing efficiency in a cross-country perspective: The case of Italian and Spanish state universities[J]. *Higher Education*, 2010(1).

- [2] Sagarra, M. , C. Mar-Moliner, T. Agasisti. Exploring the efficiency of Mexican universities; Integrating data envelopment analysis and multidimensional scaling[J]. *Omega*, 2017, 67.
- [3] Dvir, R. , E. Pasher. Innovation engines for knowledge cities; An innovation ecology perspective[J]. *Journal of Knowledge Management* , 2004(5).
- [4] Qin, X. H. , D. B. Du, M. P. Kwan. Spatial spillovers and value chain spillovers; Evaluating regional R&D efficiency and its spillover effects in China[J]. *Scientometrics*, 2019(2).
- [5] Mowery, D. C. , A. A. Ziedonis. Markets versus spillovers in outflows of university research[J]. *Research Policy*, 2015(1).
- [6] Audretsch, D. B. , E. E. Lehmann, S. Warning. University spillovers and new firm location[J]. *Research Policy*, 2005(7).
- [7] 胡曙虹, 黄丽, 范蓓蕾, 肖刚. 中国高校创新产出的空间溢出效应与区域经济增长——基于省域数据的空间计量经济分析[J]. *地理科学*, 2016(12).
- [8] 郝新东, 杨俊凯. 区域协同创新效率溢出效应研究——以珠三角九市为例[J]. *科技与经济*, 2020(1).
- [9] 杨友才, 耿璐璐, 史倩姿. 我国高技术产业间技术创新效率溢出效应——基于 GVAR 模型的研究[J]. *管理评论*, 2020(6).
- [10] 李航, 李成明, 曲扶摇, 白柠瑞. 资源配置、内涵发展与“双一流”建设分析——来自全国高等教育效率测度的证据[J]. *技术经济与管理研究*, 2018(11).
- [11] Klepper, S. Disagreements, spinoffs, and the evolution of Detroit as the capital of the U. S. automobile industry[J]. *Management Science* , 2007(4).
- [12] Singh, J. Collaborative networks as determinants of knowledge diffusion patterns[J]. *Management Science* , 2005(5).
- [13] 王晓红, 张少鹏, 张奔. 政府支持对产学知识流动双元效率的影响——以 137 所“双一流”建设高校为例[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2020(6).
- [14] Bonaccorsi, A. , M. G. Colombo, M. Guerini, et al. University specialization and new firm creation across industries[J]. *Small Business Economics*, 2013(4).
- [15] Roper, S. , J. Du, J. H. Love. Modelling the innovation value chain[J]. *Research Policy*, 2008(6).
- [16] 朱恬恬, 胡霞, 彭华荣. “双一流”建设高校的全要素科技创新效率研究[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2018(6).
- [17] Jablonsky, J. Efficiency analysis in multi-period systems: An application to performance evaluation in Czech higher education[J]. *Central European Journal of Operations Research* , 2016(2).
- [18] Johnes, G. , A. Schwarzenberger. Differences in cost structure and the evaluation of efficiency; The case of German universities[J]. *Education Economics* , 2011(5).
- [19] Johnes, J. Measuring teaching efficiency in higher education; An application of data envelopment analysis to economics graduates from UK universities 1993[J]. *European Journal of Operational Research* , 2006(1).
- [20] Yaisawarng, S. , Y. C. Ng. The impact of higher education reform on research performance of Chinese universities[J]. *China Economic Review* , 2014, 31.
- [21] 罗杭, 郭珍. 2012 年中国“985”大学效率评价——基于 DEA-Tobit 模型的教学-科研效率评价与结构-环境影响分析[J]. *高等教育研究*, 2014(12).
- [22] Thanassoulis, E. , M. Kortelainen, G. Johnes, et al. Costs and efficiency of higher education institutions in England; A DEA analysis[J]. *Journal of the Operational Research* , 2011(7).
- [23] Zoghbi, A. C. , F. Rocha, E. Mattos. Education production efficiency; Evidence from Brazilian universities[J]. *Economic Modelling* , 2013, 31.
- [24] Guan, J. C. , K. H. Chen. Measuring the innovation production process; A cross-region empirical study of Chi-

- na's high-tech innovations[J]. *Technovation*, 2010(5).
- [25] 赵增耀, 章小波, 沈能. 区域协同创新效率的多维溢出效应[J]. *中国工业经济*, 2015(1).
- [26] 余泳泽, 刘大勇. 我国区域创新效率的空间外溢效应与价值链外溢效应——创新价值链视角下的多维空间面板模型研究[J]. *管理世界*, 2013(7).
- [27] Ponds, R., F. van Oort, K. Frenken. Innovation, spillovers and university-industry collaboration: An extended knowledge production function approach[J]. *Journal of Economic Geography*, 2010(2).
- [28] Li, X. Y., J. L. Li, X. J. Wu. University spillovers, spatial distance, and firm innovation: Evidence at Chinese listed firms[J]. *Emerging Markets Finance and Trade*, 2020(7).
- [29] Hewitt-Dundas, N., S. Roper. Output additionality of public support for innovation: Evidence for Irish manufacturing plants[J]. *European Planning Studies*, 2010(1).
- [30] Motohashi, K. University-industry collaborations in Japan: The role of new technology-based firms in transforming the national innovation system[J]. *Research Policy*, 2005(5).
- [31] Guan, J. C., K. H. Chen. Modeling the relative efficiency of national innovation systems[J]. *Research Policy*, 2012(1).
- [32] Feng, Y., X. Wang, W. Du, et al. Effects of environmental regulation and FDI on urban innovation in China: A spatial Durbin econometric analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 235.
- [33] 中华人民共和国国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)[EB/OL]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2006/content_240244.htm, 2020-06-21.
- [34] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于实行以增加知识价值为导向分配政策的若干意见》[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/2016-11/07/content_5129805.htm, 2016-11-06.
- [35] 中华人民共和国教育部. 介绍“十三五”期间高等教育事业改革发展、高校人才培养、思政工作、科技创新情况[EB/OL]. <http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2020/52717/>, 2020-12-03.
- [36] 江苏省科学技术厅. 江苏省“十二五”科技发展规划[EB/OL]. http://kxjst.jiangsu.gov.cn/art/2012/1/30/art_48992_7095220.html, 2012-01-30.
- [37] 江苏省科学技术厅. 江苏省科学技术奖励办法政策解读[EB/OL]. http://kxjst.jiangsu.gov.cn/art/2011/7/23/art_48990_7095094.html, 2011-07-23.
- [38] 湖北省科学技术厅. 湖北省人民政府关于修改《湖北省科学技术奖励办法》的决定[EB/OL]. http://kjt.hubei.gov.cn/gdlm/zcwj/zcfg/hbsrmzfl/201410/t20141017_303529.shtml, 2014-10-17.
- [39] 中华人民共和国教育部. 推动更高层次改革实行更高水平开放 为构建新发展格局提供强大动力[EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/s6052/moe_838/202009/t20200902_484199.html, 2020-09-01.
- [40] 中华人民共和国教育部. 发挥直属高校科技优势服务区域战略新布局的政策建议[EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/jyb_sjzl/s3165/201206/t20120627_138333.html, 2012-06-26.
- [41] 中华人民共和国教育部. 教育部 科技部关于加强高等学校科技成果转移转化工作的若干意见[EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/moe_784/201608/t20160819_275699.html, 2016-08-05.
- [42] 韩峰, 阳立高. 生产性服务业集聚如何影响制造业结构升级?——一个集聚经济与熊彼特内生增长理论的综合框架[J]. *管理世界*, 2020(2).
- [43] Ghio, N., M. Guerini, C. Rossi-Lamastra. University knowledge and the creation of innovative start-ups: An analysis of the Italian case[J]. *Small Business Economics*, 2016(2).
- [44] Ponds, R., F. Van Oort, K. Frenken. Innovation, spillovers and university-industry collaboration: An extended knowledge production function approach[J]. *Journal of Economic Geography*, 2010(2).
- [45] Carlsson, B., Z. J. Acs, D. B. Audretsch, et al. Knowledge creation, entrepreneurship, and economic growth: A historical review[J]. *Industrial and Corporate Change*, 2009(6).

- [46]Gertler,M. S. Tacit knowledge and the economic geography of context,or the undefinable tacitness of being (there)[J]. *Journal of Economic Geography*,2003(1).
- [47]Bercovitz,J. ,M. Feldman. Entrepreneurial universities and technology transfer:A conceptual framework for understanding knowledge-based economic development[J]. *The Journal of Technology Transfer*,2006(1).
- [48]汪彦,陈悦,曹贤忠,付全胜. 上海高校科研创新效率与影响因素实证研究——基于 DEA-Tobit 模型[J]. *科技管理研究*,2018(8).
- [49]Perkmann,M. ,V. Tartari,M. McKelvey,et al. Academic engagement and commercialisation:A review of the literature on university-industry relations[J]. *Research Policy*,2013(2).

The Spillover Effect of Scientific & Technological Innovation Efficiency of Universities in China from the Two-stage Perspective

ZHU Tian-tian, LU Ya-hua, ZHANG Yue-jun

Abstract: The unbalanced allocation of educational resources among universities in China, coupled with frequent interactions, has led to differences in the efficiency of scientific and technological (S&T) innovation among universities, and there may be spillovers, which has not yet received necessary attention. For this reason, based on the data of 27 provinces in China from 2007 to 2018, this paper divides the S&T innovation process of universities into two interrelated sub-stages of knowledge innovation and achievement transformation, then uses the two-stage DEA approach to measure the overall efficiency, knowledge innovation efficiency and achievement transformation efficiency, and develops a spatial Durbin model to estimate the spatial spillover effects of the S&T innovation efficiency of universities and relevant influencing factors. The results reveal that: first, during the sample period, on the whole, the efficiency of achievement transformation in China's universities is higher than that of knowledge innovation, but the regional distribution of their efficiency levels from high to low shows as: west-east-central China. Second, the spatial spillover effect of the overall efficiency of S&T innovation and knowledge innovation efficiency among universities is weak, while the efficiency of achievement transformation has a significant spatial spillover effect. Third, the efficiency of knowledge innovation in universities has not yet produced a significant spatial spillover effect on the efficiency of achievement transformation. Finally, the increased degree of university-industry cooperation promotes the improvement of knowledge innovation efficiency in the neighboring regions without significant spatial spillover effect on the efficiency of achievement transformation.

Key words: universities; S&T innovation efficiency; two-stage DEA approach; spillover effect

(责任编辑 孙 洁)