

基于随机前沿分析模型的 江苏省属高校科技创新效率分类评价与研究¹

朱金龙¹ 朱卫未² 王晓冬¹

(1 南京邮电大学科研院, 南京 210023; 2 南京邮电大学管理学院, 南京 210023)

【摘要】: 高校作为国家科技创新体系重要组成部分, 近年来其科技创新效率得到社会各界的广泛关注。随着国家“双一流”高校建设的启动, 江苏也实施了高水平大学建设工程, 对高校各方面的投入不断加强。为研究高校科技创新效率, 以 17 所江苏省属高校(大学) 2013—2017 年面板数据为研究对象, 采用随机前沿分析模型对上述高校科技创新效率进行分类分析研究, 并根据分析结果提出进一步提升科技创新水平和效率的建议, 为主管部门和各高校提供参考, 进一步加强高校科技创新工作内涵建设, 推进科技创新工作高质量发展。

【关键词】: 随机前沿分析 科技创新效率 分类评价

0 引言

高校作为国家创新体系重要组成部分, 是国家基础研究和高新技术原始创新的主力军之一。近年来, 国家明确提出高校要走内涵式发展道路, 促进高校特色化高质量发展。自国家启动“双一流”高校建设以来, 各省加大对高校科技创新支持力度和强度, 高校科技创新效率引起社会广泛关注, 高校科技创新效率成为研究热点问题。科学合理的分析和评价高校科技创新效率, 既可为高校制定科技发展规划和政策提供依据, 也为上级部门调谡科技创新资源配置方式、提升资源利用效率提供参考。

国内外学者在研究高校科技创新效率时通常采用非参数法的典型代表:数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)。国外学者运用 DEA 方法分析澳大利亚、英国、西班牙巴塞罗那等国家或地区的高校规模效率及技术效率^[1-4]。国内学者研究高校科技创新效率主要对全国高校、特定类型高校和特定省区高校等三个类别进行研究, 其中对江苏、江西、安徽、浙江四个省份高校科研效率的研究较多^[5]。对江苏省高校科技创新效率研究主要有:张俊婷等运用熵权-DEA 方法对江苏高校科技创新能力进行评价研究^[6];王惠等利用 DEA 模型评价江苏高校科研效率^[7];陈露等利用三阶 DEA 模型分析江苏高校人文社科效率^[8];王丽娜^[9]和彭怀祖等^[10]利用传统 DEA 模型分析研究江苏高校科研效率和投入产出效率。学者在研究江苏省高校科研效率时主要采用 DEA 模型, 分析数据基本以截面数据为主。

本文在前期学者研究的基础上, 采用参数法经典方法随机前沿分析(Stochastic Frontier Analysis, SFA)模型, 构建科技创新评价体系, 对 17 所江苏省属高校(大学) 2013—2017 年科技创新投入产出面板数据进行分析, 具有以下特点: 一

基金项目: 国家自然科学基金项目——“学习效应嵌入下动态决策单元 DEA 效率评价与管理目标设定的研究与应用”(项目编号:71771126;项目负责人:朱卫未)成果之一;江苏省社会科学基金项目——“高校新型智库成果应用度分析及提升路径研究”(项目批准号:15JYC006;项目负责人:陈赞畅)成果之一;江苏高校哲学社会科学基金项目——“新常态江苏信息产业协同创新模式和机制研究”(项目编号:2017SJB0077;项目负责人:刘磊)成果之一。

作者简介: 朱金龙, 工学硕士, 南京邮电大学科研院综合管理办公室主任、助理研究员, 研究方向:科技管理研究;朱卫未, 管理学博士, 南京邮电大学管理学院副院长、教授、硕士生导师, 研究方向:系统效率评价与优化、知识管理与信息管理;王晓冬, 工学硕士, 南京邮电大学科研院重点平台建设办公室副主任、副研究员, 研究方向:科研管理。

是研究方法客观可靠。DEA 方法在分析技术效率时，最大局限是由于运用线性规划方法进行计算，对样本数据有一定的限制，直接影响分析结果的稳定性和准确性，而且没有考虑到影响技术效率的不可控随机因素带来的误差。本文采用的 SFA 模型以统计检验数作为样本拟合度和统计特性的参考，充分利用了每个样本的信息，具有可比性强、可靠性高的优点^[11]，且分析得到的效率值一般不为 1，有利于进一步比较和分析。二是研究对象同类可比。本文选取 17 所江苏省教育厅直属高校(大学)为研究对象，科技创新资源要素来源途径和配置模式比较接近。同时本文将研究对象分为综合类、理工类、医药类、师范类和财经类等 5 种不同类型进行分析比较，结果更具可比性。三是分析数据科学客观。本文分析的面板数据由《高等学校科技统计资料汇编》和国家知识产权局网站检索的相关数据构成，并根据数据的客观性和可得性原则，选取相应的科技创新投入和产出数据。

1 高校科技创新效率评价体系构建

1.1 高校科技创新效率评价指标选取

本文选取 17 所江苏省属高校(大学)2013—2017 年科技创新投入和产出的面板数据，按照可获取性、可比性、代表性与实用性等原则，选取具有区分度的评价指标，构建高校科技创新效率评价指标体系。

科技创新投入选取人员投入和财政投入两个指标。人员投入是指当年高校投入的 R&D 全时当量人员，全时人员是指当年高校从事科技创新工作时间占本人全部工作时间 90%及以上的人员，反映了当年高校科技创新工作的人员投入。财政投入主要包括政府、企事业单位和高校自筹等不同渠道获得的经费，本文选取高校当年科研项目到款经费中直接用于科技创新工作的支出经费为财政投入指标。

科技创新产出选择五类二级指标：一是科研项目，通过当年高校从政府、企事业单位等不同渠道获得的科研项目到款经费反映其科研项目产出情况，该指标通过教育部统计数据获得，具有客观可得性；二是科技成果，通过当年在国内外刊物发表论文情况反映其科技成果产出，该指标覆盖本文所研究的每一所高校，具有指标的全面性；三是成果转化，通过当年高校技术转让收入反映其成果转化情况，即具有可比性又具有科学性；四是成果获奖，通过当年高校获得的国家级、省部级奖项两个三级指标，反映高校科技创新质量，既具有全面性，又具有代表性。为体现区分度，赋予国家奖折算系数为 5；五是知识产权，通过当年高校获得授权专利情况反映其知识产权产出情况，即具有可获得性更具有代表性。江苏省属高校(大学)科技创新效率评价指标体系见表 1。

表 1 江苏省属高校科技创新效率评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
科技创新投入	人员投入	R&D 全时当量人员
	财政投入	科研项目经费支出
科技创新产出	科研项目	科技经费收入
	科技论文	国内外刊物发表论文
	成果转化	技术转让收入
	成果获奖	国家级、省部级奖
	知识产权	授权专利

1.2 随机前沿分析原理及步骤

随机前沿分析(Stochastic Frontier Analysis, 简称“SFA”)是 20 世纪 70 年代由 Meesuen 等^[12-14]提出后被广泛用于评价技术效率的一种参数法模型。该方法对技术效率的测度是从一个关于效率前沿函数的具体界定开始，以样本数据库为基础估计出

效率前沿函数的各参数值，并依此计算评价目标的具体效率。SFA 与 DEA 相比，它最大的优点是在分析过程中不仅考虑了技术无效率项，同时考虑到直接影响技术效率的随机误差项。SFA 有多种分析模型，Meeusen 等提出的 SFA 模型为：

$$Y_i = f(x_i, \beta) \exp(v_i) \exp(-u_i), i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

其中， Y_i 代表产出变量， x_i 代表投入变量， β 代表待定的参数变量， v_i 和 u_i 分别代表随机误差和非负误差，两者共同组成随机扰动 ε_i 其技术效率 TE 表示如下：

$$TE_i = \exp(-U_i) = \frac{Y_i}{f(x_i, \beta) \exp(V_i)} \quad (2)$$

Meeusen 将技术效率重新定义，解决计算每个样本点技术效率的难题，重新定义的技术效率为：

$$TE_i = \exp[-E(-U_i | \varepsilon_i)] \quad (3)$$

本文采用 Battese 等研究提出的生产函数为 Cobb-Douglas 的 SFA 模型，模型形式为：

$$\ln Y_{it} = \beta \ln x_{it} + V_{it} - U_{it} \quad (4)$$

其中， i 表示样本个数， x_{it} 表示在 t 时间样本投入向量， Y_{it} 表示在 t 时间样本产出向量。 β 表示待估参数向量，其维度比投入向量维度多 1，定义 β_0 为截距项，其余 β 向量的数值表示投入弹性。 V_{it} 表示 t 时间样本生产过程中由不可控因素造成的随机误差，其分布服从正态分布，即 $V_{it} \sim N_{(0, \sigma_v^2)}$ ； U_{it} 表示 t 时间样本生产过程中的非负误差，其分布服从半正态分布，即 $U_{it} \sim N_{+}(mit, \sigma_u^2)$ ，且 V_{it} 、 U_{it} 和投入向量相互独立。定义符合残差项的方差为：

$$\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2 \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma^2} \quad (6)$$

当 $0 \leq \gamma \leq 1$ 时，说明使用 SFA 模型是合理的，可以采用极大似然法进行估计。

2 高校科技创新效率评价与分析

2.1 高校科技创新效率评价

本文分析的 17 所江苏省属高校（大学）科技创新面板数据统计特性和效率分析结果见表 2 和表 3, 科技创新效率折线图见图 1。

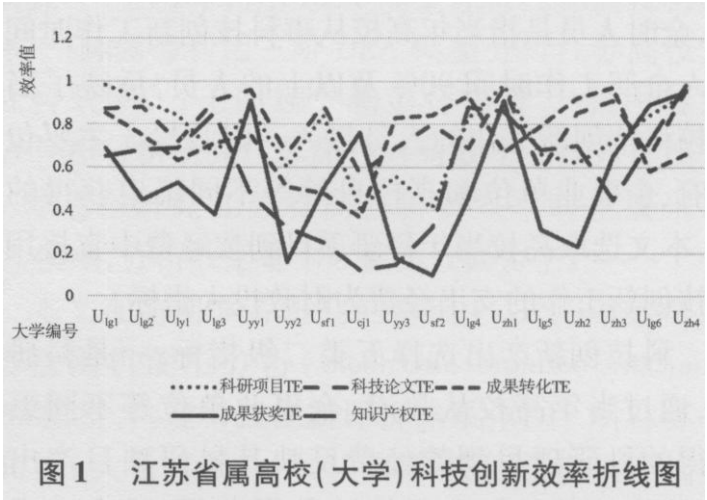


表 2 江苏省属高校（大学）科技创新数据统计特性

待估参数		β_0	β_1	β_2	δ^2	γ
科研项目	系数	0. 375 x 10 ⁵	0. 748	0. 813	0. 531 x10 ¹⁰	0. 703
	标准差	1. 053	34. 392	0. 064	1. 000	0. 049
	t-检验值	0. 356 x10 ⁵	0. 217	12. 715	0. 531 x10 ¹⁰	0. 141 x10 ²
科技论文	系数	0. 130 x 10 ³	0. 758	0. 0019	0. 221 x 10 ⁶	0. 554
	标准差	0. 109 x 10 ³	0. 267	0. 00048	1. 003	0. 082
	t-检验值	1. 188	2. 831	4. 124	0. 221 x 10 ⁶	6. 905
成果转化	系数	0. 169 x10 ⁵	-0. 155	0. 073	0. 465 x10 ⁹	0. 712
	标准差	1. 005	10. 389	0. 021	1. 000	0. 054
	t-检验值	0. 168 x 10 ⁵	-1. 494	3. 557	0. 465 x 10 ⁹	13. 221
成果获奖	系数	0. 174 x10 ²	0. 011	0. 201 x10 ⁻⁵	0. 238 x 10 ³	0. 738
	标准差	6. 263	0. 008	0. 138 x10 ⁻⁴	0. 117 x10 ³	0. 156
	t-检验值	2. 785	1. 355	0. 145	2. 034	4. 729
知识产权	系数	0. 228 x 10 ³	-0. 102	0. 148 x10 ⁻³	0. 845 x 10 ⁵	0. 812
	标准差	0. 595 x10 ²	0. 113	0. 235 x 10 ⁻³	1. 059	0. 325 x10 ⁻¹
	t-检验值	3. 832	-0. 905	6. 302	0. 798 x 10 ⁵	24. 969

2.2 高校科技创新效率分析

从表 3 和图 1 可以看出，江苏 17 所省属高校（大学）科技创新效率差异化比较明显，尤其是在成果获奖和知识产权两个指标，科技创新资源投入和产出还有待进一步完善和提升。总体来看，科研项目效率和科技论文效率相对较高，这与目前高校科技创新现状比较吻合，科技人员因科技奖励、职称评定等政策导向，较为关注科研项目和科技论文等指标的产出；成果转化效率适中，这与近年来国家和省级部门日益重视科技成果转移转化密切相关，也反映了成果转化效率还有进一步提升空间；成果

获奖效率和知识产权效率普遍较低，只有个别高校表现突出。

表 3 江苏省属高校（大学）科技创新效率分析结果

学校编号	类型	科研项目	科技论文	成果转化	成果获奖	知识产权
		TE	TE	TE	TE	TE
U _{lg1}	理工院校	0.98	0.87	0.85	0.69	0.65
U _{lg2}	理工院校	0.91	0.88	0.75	0.45	0.68
U _{ly1}	林业院校	0.84	0.72	0.63	0.53	0.69
U _{lg3}	理工院校	0.66	0.91	0.71	0.38	0.85
U _{yy1}	医药院校	0.87	0.96	0.75	0.91	0.47
U _{yy2}	医药院校	0.60	0.66	0.51	0.16	0.32
U _{sf1}	师范院校	0.84	0.89	0.48	0.50	0.25
U _{cj11}	财经院校	0.41	0.57	0.37	0.76	0.12
U _{yy3}	医药院校	0.56	0.69	0.83	0.18	0.15
U _{sf2}	师范院校	0.41	0.80	0.84	0.10	0.32
U _{lg4}	理工院校	0.83	0.69	0.93	0.46	0.88
U _{zh1}	综合大学	0.98	0.97	0.67	0.91	0.86
U _{lg5}	理工院校	0.66	0.58	0.79	0.31	0.68
U _{zh2}	综合大学	0.62	0.85	0.92	0.23	0.70
U _{zh3}	综合大学	0.72	0.91	0.97	0.65	0.45
U _{lg6}	理工院校	0.84	0.65	0.58	0.89	0.72
U _{zh4}	综合大学	0.94	0.96	0.66	0.95	0.98
平均效率		0.75	0.80	0.72	0.54	0.57

2.2.1 投入角度分析

如表 2 所示，适当地调整投入要素数量和方向，有助于提升相关科技创新产出效率：每增加 1% 的人员投入，科研项目产出效率提升 74.8%，科技论文产出效率提升 75.8%，成果获奖效率提升 1.1%；每增加 1% 的财政投入，科研项目产出效率提升 81.3%，成果转化效率提升 7.3%。对成果转化效率和知识产权效率而言，人员投入已产生冗余：每增加 1% 的人员投入，成果转化效率降低 15.5%，知识产权效率降低 10.2%。这说明高校科技创新要素资源配置模式和投入方向需进一步完善和优化，为主管部门和高校进一步调整优化资源配置模式和方向，提高科技创新效率提供了参考。

2.2.2 产出角度分析

科研项目。科研项目体现一所大学科技创新人才和团队的建设及培养水平。U_{zh1}、U_{lg1}、U_{zh4} 和 U_{lg2} 等高校科研项目效率值超过 90%，位列前 4 名，客观反映了这 4 所高校近年来在科技创新人才引进和培养方面取得了显著效果；U_{yy1}、U_{sf1}、U_{ly1} 和 U_{lg6} 等 4 所高校科研项目效率值在 80%~90%；其他 9 所高校科研项目效率值低于 80%，U_{sf2} 和 U_{cj1} 等 2 所高校科研项目效率值为 41%，其科技创新资源要素投入方式和模式需进一步整合提升。

科技论文。科技论文是一所大学科技创新能力高低的主要标志之一。U_{zh1}、U_{zh4}、U_{yy1}、U_{zh3}、和 U_{lg3} 等高校科技论文效率值较高，均超过 90%，位列前 5 名，体现了这 5 所高校近年来科技创新能力不断提升；U_{sf1}、U_{lg2}、U_{lg1}、U_{zh2} 和 U_{sf2} 等 5 所高校科技论文效率值在 80%~90%；其他 7 所高校科技论文效率值低于 80%，U_{cj1} 科技论文效率值为 51%。

成果转化。成果转化反映了一所大学服务地方经济社会发展和助推行业转型升级的能力。 U_{zh3} 、 U_{lg4} 和 U_{zh2} 等高校表现突出，位列前 3 名，成果转化效率值均超过 90%; U_{lg1} 、 U_{sf2} 和 U_{yy3} 等 3 所高校成果转化效率值在 80%~90%;其他 11 所高校成果转化效率值均低于 80%, U_{cjl} 成果转化效率值为 37%。

成果奖项。成果获奖情况尤其是国家级成果奖情况体现了一所大学科技创新核心竞争力的高低。 U_{zh4} 、 U_{zh1} 和 U_{yy1} 等高校成果奖项位列前 3 名，效率值均超过 90%; U_{lg6} 成果奖项效率值为 89%，其他 13 所高校成果奖项效率值均低于 80%，且不同类别的大学，效率值差距较大。

知识产权。知识产权体现了一所大学科学研究创新性、新颖性和应用性。17 所高校知识产权工作发展极不平衡: U_{zh4} 知识产权效率位列第一，效率值为 98%; U_{lg4} 、 U_{zh1} 和 U_{lg3} 等 3 所高校知识产权效率值超过 80%;其他 13 所高校知识产权效率值均在 80% 以下， U_{yy3} 和 U_{cjl} 等 2 所高校知识产权效率值分别为 15%和 12%。

高校科技创新效率分类分析情况如下：

综合类大学。该类大学在科技论文、成果转化和知识产权方面效率较高，成果获奖和知识产权的效率差别较大。 U_{zh1} 和 U_{zh4} 等 2 所高校在成果获奖效率表现突出，但在成果转化方面还需提升; U_{zh2} 成果获奖效率较低，但在成果转化方面具有优势。

理工类大学。该类大学在科研项目、成果转化和知识产权等三类科技创新水平比较接近;科技论文效率差别明显， U_{lg1} 、 U_{lg2} 和 U_{lg3} 等 3 所高校科技论文效率相当， U_{lg4} 、 U_{lg5} 和 U_{lg6} 等 3 所高校科技论文效率相对较低;其他 5 所高校成果获奖效率偏低， U_{lg6} 表现突出。

医药类大学。该类大学科技创新效率差异化较为明显。 U_{yy1} 除成果转化效率外，其他 4 类科技创新效率具有明显领先优势， U_{yy2} 次之， U_{yy3} 在成果转化效率方面具有较强优势。

师范类大学。该类大学在 5 类科技创新产出效率上各有优势。 U_{sf1} 在科技项目、成果获奖等 2 类科技创新效率高于 U_{sf2} ;双方在科技论文效率表现相当; U_{sf2} 在成果转化和知识产权等 2 类科技创新产出效率高于 U_{sf1} 。

3 研究结论和建议

本文研究发现，各高校科技创新效率差距较大，科技创新投入资源要素配置和模式还有待进一步完善和改进。为进一步完善科技创新要素资源配置模式，提升高校科技创新效率，促进高校科技创新工作高质量内涵式发展，提出以下建议供主管部门和高校参考。

3.1 对主管部门的建议

主管部门应以“双一流”高校建设和江苏高水平大学建设为契机，进一步深化科技体制改革，加大对省属高校的财政支持强度，为高校特色化、内涵式 and 高质量发展提供财政保障。

优化高校建设发展的外部政策环境，加大在科研经费管理、绩效考核、分类评价、利益分配、税收政策等方面的管理创新，鼓励开展前瞻性基础研究和产业化应用研究，提升高校持续承担重大重点项目、产出标志性科研成果和服务地方经济社会发展的能力。

在成果转化方面，主管部门应制定无形资产投资、处置等方面的实施细则，打通国有资产管理、纪检、审计和科研管理之

间协调一致的全链条式科技创新服务政策通道，消除科研人员对技术转移转化的顾虑。

3.2 对高校的建议

高校要始终抓住“科技创新靠人才”这一关键要素，进一步合理规划特色化发展道路和方向，根据国家需求、产业需求和地方需求，有序调整科技创新资源要素投入方向和方式。加大对杰出领军人才尤其是团队的培育和引导，提升增量人才引进质量，激活存量人才科研活力，提升承担国家及国际重大重点科研项目能力，提升产出具有国际学术影响力科研成果能力，最终提升高校科技创新核心竞争力。

持续推进科技创新体制机制改革，通过完善职称评定、分类学术评价等杠杆政策的牵引作用，建立适合基础研究、应用研究和成果转移转化等不同类型的学术认定和评价体系，进一步激发科技人员内在潜力和动力，提升科研人员个体科技创新效率，从而推动高校整体科技创新效率的提升。

参考文献

- [1] WORTHINGTON Andrew C, LEE Boon L. Technology and productivity change in Australian universities, 1998—2003 [J]. Economics of Education Review, 2008, 27(3): 285-298.
- [2] AVKIRAN Necmi K. Investigating technical and scale efficiencies of universities through data envelopment analysis [J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2001, 35(1): 57-80.
- [3] JOHNES Jill. Data envelopment analysis and its application to the measurement of efficiency in higher education [J]. Economics of Education Review, 2006, 25(3): 273-288.
- [4] GIMENEZ V M, MARTINEZ J L. Cost efficiency in the university: A departmental evaluation model [J]. Economics of Education Review, 2016, 25(5): 543-553.
- [5] 李佳哲, 胡咏梅. 国内高校科研效率和生产率研究述评及研究展望[J]. 现代教育管理, 2018(1): 54-61.
- [6] 张俊婷, 王国金, 吴洁等. 基于熵权-DEMATEL 的江苏高校 科技创新能力评价研究[J]. 科技管理研究, 2018(9): 47-54.
- [7] 王惠, 王树乔, 李小聪. 基于 DEA 方法的江苏省高校科研效率评价研究[J]. 科技管理研究, 2015(7): 92-96.
- [8] 陈露, 凌端新, 孙雨亭. 基于三阶段 DEA 模型的江苏高等学校人文社会科学科研效率研究[J]. 科技与经济, 2018(3): 6-10.
- [9] 王丽娜. 高校科研效率研究: 以江苏省为例[J]. 科技管理研究, 2012(11): 127-139.
- [10] 彭怀祖, 王建宏. 基于 PCA-DEA 的江苏高校投入产出效率研究[J]. 教育与经济, 2013(5): 55-59.
- [11] 王洪礼, 贾岳. 基于 SFA 和 DEA 的高校综合投资学科的科研效率评价[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2015(4): 306-309.
- [12] AIGNER D, LOVELL C, SCHMIDT P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models [J]. Journal of Econometrics, 1977, 6(1): 21-37.

[13] BATTESE G E, CORRA G S. Estimation of a production frontier model: With application to the pastoral zone of eastern Australia [J]. Australia Journal of Agricultural Economics, 1977 ,21 (3): 169-179.

[14] FARRELL M J. The measurement of productive efficiency [M]. Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General 120,1957.