中国工业企业创新资源配置效率：演进，差异及提升路径

李 犟，吴和成

（南京航空航天大学 经济与管理学院，南京 211106）

摘 要：基于2013—2017年中国28个省市工业企业面板数据，运用非导向ERM模型测度了工业企业创新资源配置效率和指标无效程度，并借助核密度估计和K-W检验对效率进行了系统分析。结果表明：中国工业企业创新资源配置效率整体上不佳且区域内部效率分布差异显著，多地区工业企业劳动、经费等创新要素边际收益递减；2015年以后，部分低效率地区逐渐向高效率转移；研究还发现，引进技术经费投入强度与新产品出口比例的无效程度最为严重。针对这些问题，完善工业创新资源管理体制、推进“互联网+”、人工智能等新理论、新技术的应用、加快跨区域协同创新平台建设是效率提升值得选择的路径。

关键词：工业企业；资源配置效率；ERM模型；动态演进

中图分类号：F204 **文献标志码：**A **文章编号：**1002—980X（2020）7—0054—08

党的十九大报告指出我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，提高全要素生产率是当前的迫切要求。而全要素生产率的增长由技术进步和资源配置效率拉动，故推动技术创新和优化资源配置效率是驱动高质量发展的主要路径[1-2]。我国作为工业大国，工业企业是当前国家创新体系以及实体经济的主体，其发展质量是实现经济高质量的基础与前提[3]。因此，在我国迈入经济新常态的背景下，剖析我国各地区工业企业创新资源配置效率的动态演变特征，厘清效率的时空差异，深入探究效率提升的内在路径，对促进工业企业高质量发展，转变我国经济发展方式具有积极的现实意义。

一、文献评述

目前对于工业企业创新资源配置效率的研究主要集中于效率测度方法、评价指标和影响因素等方面。在研究方法上，Raab和Kotamraju[4]采用径向DEA（数据包络分析）模型，Zhang等[5]构建了改进的网络DEA模型，Lee等[6]运用了基于DEA的全局Malmquist生产率分析法，陈莹文等[7]构建了两阶段DEA模型，綦良群等[8]将SFA（随机前沿分析）方法和Cobb-Douglas生产函数相结合设计了效率评价模型。在创新投入产出的指标选择上，李鸿禧和迟国泰[9]挑选科技从业人员数、R&D经费内部支出和财政科技经费为投入指标，新产品产值、高新技术产业产值和技术市场成交额为产出指标；熊曦等[10]择取R&D经费内部支出、R&D人员折合全时当量作为投入指标，专利申请数、新产品开发项目数、新产品销售收入和利润总额作为产出指标；胡汉辉等[11]选择R&D经费内部支出与GDP之比、R&D人员全时当量作为投入指标，发明专利申请授权数和技术市场成交合同金额作为产出指标。从影响因素出发，徐莉和方梓旭[12]研究了企业盈利能力、企业R&D重视程度、市场竞争程度和政府支持等因素，冯宗宪等[13]分析了政府投入与市场化程度变量对效率的影响，钱丽等[14]从创新氛围、产学研合作、应用研究和人才支持等方面对影响因素进行了考察。

综上所述，工业企业资源配置效率的测度模型、测度指标及影响因素是当前学术研究热点。但从目前国内对于工业企业资源配置效率的已有研究来看，仍有以下问题值得进一步探索：①从研究模型设置上来看，现有效率测度一般都是基于以下两个假设之一：不减少产出的情况下，投入达到有效时应减少的程度；不增加投入的条件下，产出达到有效时应增加的程度。这两个假设忽略了二者同时存在的情况，会导致效率得分虚高；②现有文献通常以Malmquist指数法、Windows-DEA方法对效率的趋势变化进行考察，仅能考察单一决策单元效率的变化趋势，无法动态表征全部研究对象的效率演进；③现有的指标设计一般以绝对数量为主，

收稿日期：2019—12—18

基金项目：国家社会科学基金“跨行政区域创新主体协同创新平台构建及其运行机制研究”（16BGL033）

作者简介：李犟（1997—），男，安徽凤阳人，南京航空航天大学经济与管理学院硕士研究生，研究方向：绩效评价方法与应用；吴和成（1963—），男，江苏启东人，南京航空航天大学经济与管理学院教授，博士研究生导师，研究方向：创新评价与管理。

已不适应高质量发展“调结构稳增长”的内涵要求，且已有研究缺乏对指标选取的定量分析，而一个好的指标体系应结合定性分析与定量分析得到；④已有研究较多关注影响效率的外部变量，鲜有涉及企业内部具体的指标无效分析，不利于深入剖析影响效率的企业内部因素。

基于以上考虑，本文拟运用非导向模型进行分析，推进创新活动资源投入与创新产出的双向调整，以适应经济新常态下的供给侧结构性改革；增加定量分析，并从相对水平或强度的角度，设计评价指标体系，为有价值的效率测度提供必要的前提；基于省域视角对工业企业资源配置效率及其分解指标进行总体的动态刻画，弥补该领域研究的不足，这对从总体上把握效率的变化趋势具有积极意义；考察各项投入指标的冗余以及各项产出指标的不足情况，探索提高效率的切实路径。

二、研究方法

（一）ERM模型

创新资源配置效率受多种因素的影响，将创新系统视为黑箱是估计创新效率的有效途径[15]。相比于SFA方法，DEA模型不需要严格的假设前提，更适用于评价具有多投入多产出特点的工业企业。Charnes等[16]首先构建了规模报酬不变的DEA模型，之后Banker[17]对此进行拓展，构建了规模报酬可变的DEA模型。这两个传统的DEA模型忽略了投入冗余与产出不足同时存在的情况，且指标同比例变化，不符合实际生产情况。基于此，Pastor等[18]改进了这两个DEA模型，构建了ERM（enhanced russell measure）即增强型罗素测量，同时此模型计算得到的效率不受指标量纲和数量级的影响，满足本文所研究问题的需要。

记$\left(x_{ij}, y_{rj}\right)$ $(i = 1, 2, \cdots, m;\ r = 1, 2, \cdots, s;\ j = 1, 2, \cdots, n)$为各地区指标数据的集合，其中$m$为投入指标数，$s$为产出指标数，$n$为待评价地区数。则工业企业创新资源配置的技术效率（technical efficiency，TE）可由模型（1）求得。

不变规模报酬下的ERM模型为

$$TE = \min\left(\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\theta_i\right)\Big/\left(\frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\phi_r\right)$$

$$\text{s.t.}\begin{cases}\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij} \leqslant \theta_i x_{i0}, i = 1, 2, \cdots, m \\ \sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj} \geqslant \phi_r y_{r0}, r = 1, 2, \cdots, s \\ \lambda_j \geqslant 0\left(\forall j\right), 0 \leqslant \theta_i \leqslant 1\left(\forall i\right), \phi_r \geqslant 1\left(\forall r\right)\end{cases} \tag{1}$$

其中：λ_j为结构变量；θ_i与ϕ_r分别为第i个投入要素的利用率与第r个创新产出指标产出的比例。在模型（1）下的有效（效率值等于1）满足技术和规模同时有效，所以技术效率也称综合效率。模型（1）在增加$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1$的约束条件后，可分离规模效率（scale efficiency，SE），计算出纯技术效率（pure technical efficiency，PTE）。为区别技术效率与纯技术效率，后文均用综合效率这一表述。综合效率、纯技术效率与规模效率的关系为$TE = PTE \times SE$。如果SE为1，则该决策单元规模有效。在模型（1）求解出最优解的同时，$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j < 1$、$= 1$和$> 1$分别代表该决策单元的规模报酬状态是递增、不变和递减。此外，通过$1 - \theta_i$和$\phi_r - 1$可识别第i个投入要素的冗余程度和第r个产出指标的不足水平。

（二）核密度估计

考察效率的总体演进趋势，自然想到借助于效率的概率密度曲线进行刻画。核密度估计法是一种不依赖于密度函数形式的假定而对密度函数进行估计的方法。设创新资源配置效率为随机变量X，其密度函数为$f(x) = f\left(x_1, x_2, \cdots, x_n\right)$，若$\left\{X_1, X_2, \cdots, X_n\right\}$为它的一个独立同分布的样本，则$f(x)$的核密度估计为

$$\hat{f}_n(x) = \frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \tag{2}$$

其中：$K\left(\frac{x - X_i}{h}\right)$为核函数；$n$为地区数；$h$为窗宽。本文选取常用的Epanechnikov核函数，窗宽$h = 1.06 s_x n^{-\frac{1}{5}}$，$s_x$为样本标准差。

三、指标设计与样本选择

发展不平衡不充分是中国面临的客观问题，在设定评价指标时应充分考虑到不同区域的差异，同时从高质量发展所要求的结构合理层面，本文主要选用相对或者平均意义上的指标。创新投入指标通常从劳动和经费的角度进行选择。现有的指标设计通常用R&D人员数或全时当量来表示劳动方面的投入，但随着技术水平的进步，生产技术、设备以及环境在不断改善，员工减少未必会导致收益减少，用人数或者时间表示劳动对创新产出的贡献已不合时宜，故采用人均的劳动经费可较好表征劳动的消耗。进一步结合工业企业创新过程的特点，初步选择用于描述创新资源投入水平或强度的待选评价指标集：人员劳务费/R&D人员数，R&D人员全时当量/平均从业人员，研究人员全时当量/R&D人员全时当量，R&D经费内部支出/主营业收入，R&D经费内部支出/R&D人员数，R&D项目经费支出/R&D项目数，对研究机构与高校支出/R&D经费外部支出，引进技术经费支出/R&D经费内部支出，新产品开发经费支出额/新产品开发项目，新产品开发经费支出额/主营业收入。

用于描述创新产出的指标，已有研究主要集中在专利和新产品上。基于此，初步设计的指标有：专利申请数/平均从业人员数，专利申请数/R&D人员全时当量，发明专利申请数/平均从业人员，发明专利申请数/R&D人员全时当量，新产品开发项目数/R&D项目数，新产品销售收入/主营业收入，新产品销售收入/新产品开发项目数，新产品出口额/新产品销售收入，利润总额/R&D经费内部支出。

指标设计在考虑指标数据可得性的前提下，评价指标应能较充分地体现研究现象的内涵，并且用尽可能少的指标反映尽可能多的创新过程信息。虽然一个完美的指标体系从理论上难以获得，但是可以通过统计工具在指标择取方面发挥一些作用。在DEA分析中，如果评价指标过多会导致有效的决策单元增加，会扭曲评价结果。因此，在选择评价指标时，可从线形相关的角度对待选指标集进行处理。设有p个待选指标$x_1, x_2, \cdots, x_p$，以$\left(x_{11}, x_{12}, \cdots, x_{1n}\right), \left(x_{21}, x_{22}, \cdots, x_{2n}\right), \cdots, \left(x_{p1}, x_{p2}, \cdots, x_{pn}\right)$表示$p$个变量的一组样本观察值，则可得到样本相关系数矩阵$\boldsymbol{R}$。为保证指标间变化的一致性，首先舍去负相关的指标，剔除原则是保留具有代表性的指标。然后，对于相关系数较高的指标进行适当舍去，这里取0.7。例如，指标“R&D经费内部支出/主营业收入”与“新产品开发经费支出额/主营业收入”存在高度相关，但R&D经费内部支出/主营业收入与其他指标相关性较小，故保留。

通过上述过程，可分别得到模型需要的投入与产出指标。最终投入指标：X_1为人员劳务费/R&D人员数，X_2为R&D经费内部支出/主营业收入，X_3为引进技术经费支出/R&D经费内部支出，X_4为新产品开发经费支出额/新产品开发项目。产出指标：Y_1为专利申请数/R&D人员全时当量，Y_2为新产品开发项目数/R&D项目数，Y_3为新产品出口额/新产品销售收入。

本文分析所用数据来源于《中国工业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》和《中国统计年鉴》，并经过计算整理得到，时间跨度为2013—2017年，是目前可资利用的最新数据。分析的地区为除海南、西藏、青海、香港特区、澳门特区和台湾地区（数据缺失）外的28个省级区域。统计年鉴中的相关数据口径为规模以上工业企业，在此予以说明。在DEA模型中，评价样本越多，效率区分度越好。本文采用2013—2017年的5个横截面数据为观测值，扩大评价样本，弥补单个横截面数据上出现较多有效单元而区分能力降低的不足。

在国家科技创新制度不断完善的大环境下，研究期内反映工业创新资源的关键指标值如R&D人员数、R&D经费内部支出以及新产品销售收入等增长平稳，且我国于2015年提出《中国制造2025》以及“供给侧结构性改革”等与工业转型升级提质增效息息相关的战略、改革等，并于2017年提出“高质量发展”这一发展要求，故选择2013—2017年的数据研究有其代表性，能基本反映不同战略阶段我国工业企业创新资源配置效率状况，所得研究结果对于未来我国高质量发展所需要的政策制定有较好的参考价值。改革开放以来，各地区工业的发展经历了深刻变化，传统的东、中、西三大区域的划分方式已不合时宜，因此，本文借鉴文献[19]的标准，进一步将其划分为八大区域，见表1。

表1　区域划分

区域	省市
东北综合经济区	辽宁、吉林、黑龙江
北部沿海综合经济区	北京、天津、河北、山东
东部沿海综合经济区	上海、江苏、浙江
南部沿海综合经济区	福建、广东
黄河中游综合经济区	陕西、山西、河南、内蒙古
长江中游综合经济区	湖北、湖南、江西、安徽
西南综合经济区	云南、贵州、四川、重庆、广西
西北综合经济区	甘肃、宁夏、新疆

四、实证分析

（一）效率测度及分析

根据2013—2017年28省份工业企业面板数据，利用上述模型计算得到各年各省份工业企业创新资源配置的综合效率、纯技术效率和规模效率。限于篇幅，详细数据从略。根据计算结果整理得到全国及八大区域的效率均值情况，见表2。

表2　八大区域工业企业创新资源配置综合效率、纯技术效率和规模效率

区域	效率类别	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
东北综合经济区	TE	0.567	0.535	0.257	0.346	0.581
	PTE	0.601	0.556	0.536	0.384	0.592
	SE	0.921	0.942	0.687	0.890	0.969
北部沿海综合经济区	TE	0.494	0.450	0.337	0.354	0.371
	PTE	0.511	0.472	0.369	0.388	0.402
	SE	0.966	0.952	0.908	0.904	0.904
东部沿海综合经济区	TE	0.625	0.631	0.592	0.603	0.585
	PTE	0.656	0.685	0.626	0.644	0.613
	SE	0.926	0.898	0.916	0.897	0.917
南部沿海综合经济区	TE	0.582	0.568	0.528	0.582	0.669
	PTE	0.627	0.639	0.567	0.672	0.785
	SE	0.931	0.902	0.929	0.875	0.883
黄河中游综合经济区	TE	0.456	0.445	0.495	0.434	0.409
	PTE	0.461	0.445	0.517	0.443	0.416
	SE	0.988	0.999	0.950	0.951	0.943
长江中游综合经济区	TE	0.512	0.609	0.504	0.572	0.546
	PTE	0.534	0.637	0.525	0.590	0.589
	SE	0.905	0.893	0.901	0.898	0.886
西南综合经济区	TE	0.663	0.583	0.500	0.677	0.616
	PTE	0.762	0.587	0.595	0.695	0.647
	SE	0.896	0.994	0.886	0.965	0.963
西北综合经济区	TE	0.633	0.622	0.329	0.543	1.000
	PTE	0.671	0.629	0.340	0.562	1.000
	SE	0.955	0.989	0.957	0.928	1.000
全国（28省份）	TE	0.564	0.551	0.444	0.517	0.579
	PTE	0.602	0.573	0.509	0.545	0.609
	SE	0.935	0.951	0.893	0.919	0.935

从综合效率来看，东部沿海综合经济区和南部沿海综合经济区效率均值历年均在全国均值之上，但是从规模报酬来看，这两个综合经济区内部地区总体上处于规模报酬递减的状态，表明继续增加创新资源不能提高效率。东北综合经济区、北部沿海综合经济区和西北综合经济区效率呈U型变化的趋势，其中西北综合经济区综合效率总体上较高，但效率变化幅度较大，2017年效率为1，2015年效率为0.329。西南综合经济区和长江中游综合经济区效率一直在0.5～0.7之间波动，其中安徽地区历年资源配置均为有效。黄河中游综合经济区效率始终在0.4～0.5之间，河南地区历年效率值均为1，意味着每年河南的工业企业创新资源配置均处于生产前沿面，创新投入产出规模适宜。从全国均值来看，中国工业企业创新资源配置综合效率整体相对不佳，呈U型变化趋势，于2017年达到最大值0.579，5年平均的效率值仅为0.531。

纯技术效率主要反映生产单元的制度安排及管理水平等方面。基于纯技术效率测度结果，可以看到东部沿海综合经济区、南部沿海综合经济区和西南综合经济区研究期内的纯技术效率均值均高于全国均值，其中，浙江2015年效率为0.9，其余年份均达到有效，而上海效率一直处于0.4以下，表明上海地区投入要素过剩和产出不足较为严重，投入产出结构不合理，资源配置没有处于最佳。西北综合经济区、东北综合经济区和北部沿海综合经济区效率都呈先减后增的趋势。黄河中游综合经济区效率值除2015年外，始终低于全国均值，其中陕西和内蒙古效率值始终低于0.3，说明这两个地区的工业企业管理水平相对较低，制度安排还不够完善。而长江中游综合经济区效率值持续在0.6左右波动，相对稳定。

规模效率表示当前地区的生产规模与最优规模之间的距离。除东北综合经济区外，其余区域在各年份的规模效率都高于0.85，其中北部综合经济区和西北综合经济区效率值始终高于0.9。这说明，当前制约我国工业企业创新资源配置综合效率提升的关键因素在于纯技术效率。从全国均值来看，我国工业企业创新资源配置规模效率始终优于综合效率和纯技术效率，5年均值为0.927，总体上保持稳定。

（二）效率的动态演进

在上文对各区域的效率变化趋势进行分析的基础上，进一步利用核密度估计方法考察效率分布曲线位置、峰值和形态等方面的变化，进而表征效率的分布动态演进过程。

由图1可知，我国工业企业创新资源配置综合效率分布的动态演进呈现两个鲜明的区间特征，从密度分布曲线的形态来看，曲线在0～0.6相对低效率区间和0.6～1相对高效率区间变化显著，且2015年为曲线形态变化的分水岭。2013—2015年期间，低效率区间的分布曲线波峰逐渐增高，说明在此区间内的地区效率差异在逐渐变小，而高效率区间的分布曲线呈右拖尾特征，且曲线逐渐向下移动，表明高效率地区有减少的趋势。而2015—2017年低效率区间的分布曲线波峰高度下降且宽度由陡峭变为扁平，说明此时期资源配置综合效率省域差异逐渐变大，高效率区间的分布曲线逐渐抬起，表明高效率地区逐渐增多。由此可见，我国

于2015年提出“中国制造2025”和供给侧结构性改革等发展战略后，我国部分地区工业企业资源配置效率得到优化，相关政策效应逐步显现。总体而言，我国工业企业创新资源配置综合效率存在显著的追赶效应，即从低效率逐渐向高效率转移，由于效率在低值聚集的情况得到改善，所以省域差异逐渐增大，并于2017年呈现明显的双峰特征。

考察期间我国工业企业创新资源配置纯技术效率动态演进趋势如图2所示，纯技术效率密度分布图与综合效率十分相似。通过对综合效率与纯技术效率进行spearman相关系数检验发现，在1%的显著性水平下，二者历年呈显著的正相关，这表明纯技术效率与综合效率的排名显著一致，是决定工业企业创新资源配置综合效率高低排序的关键指标。在0～0.6区间，效率分布曲线波峰高度大幅度下降，位置向左移动，这是由于部分地区由低效率向高效率转移，造成低效率地区总体上核密度变低。在0.6～1区间，曲线逐渐抬起，实现效率提升的省份的数量逐渐增多。综合而言，工业企业创新资源配置纯技术效率存在“俱乐部”收敛情况，一部分省份纯技术效率在低值集聚，另外一部分省份纯技术效率向高值靠拢。

分析期内我国工业企业创新资源配置规模效率动态演进趋势如图3所示。2013—2015年，我国工业企业创新资源配置规模效率核密度分布曲线左拖尾特征明显，同时“单峰”分布的特征比较明显，显示规模效率持续在高水平集聚。2015年分布曲线波峰最宽，且左拖尾最长，表明2015年规模效率总体上省域差异最为显著。2015年之后，分布曲线波峰高度上升且宽度由扁平变为陡峭，表明地区间规模效率差异减小。

（三）效率分布差异检验

高质量发展还应关注地区间的差异问题。第（二）节中基于各年的截面数据分析了效率的总体变化趋势，本节进一步考察各地区效率值的差异情况。通过对效率的分布检验可识别区域内部各地区差异显著程度，如果区域内部各地区工业企业资源配置效率分布相同，便可认为区域内部效率值差

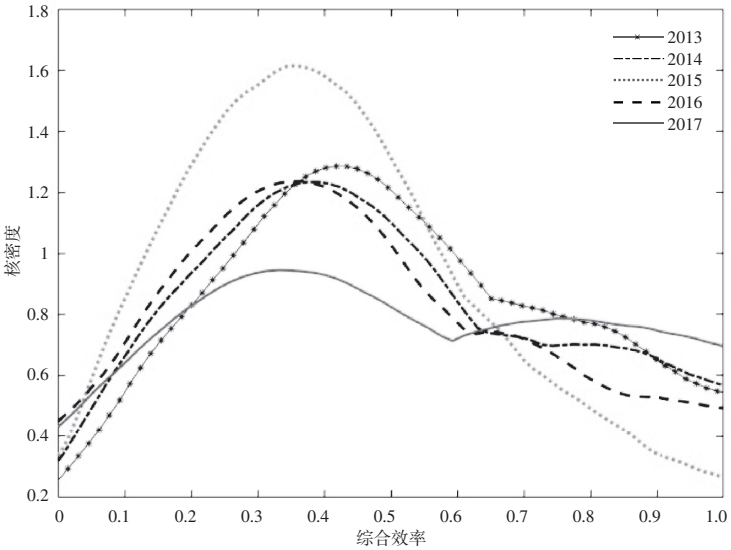

图1　工业企业创新资源配置综合效率动态演进图

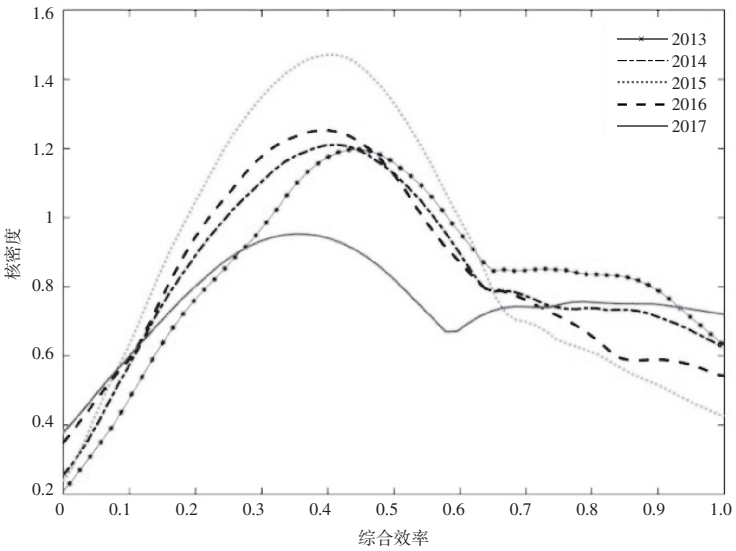

图2　工业企业创新资源配置纯技术效率动态演进图

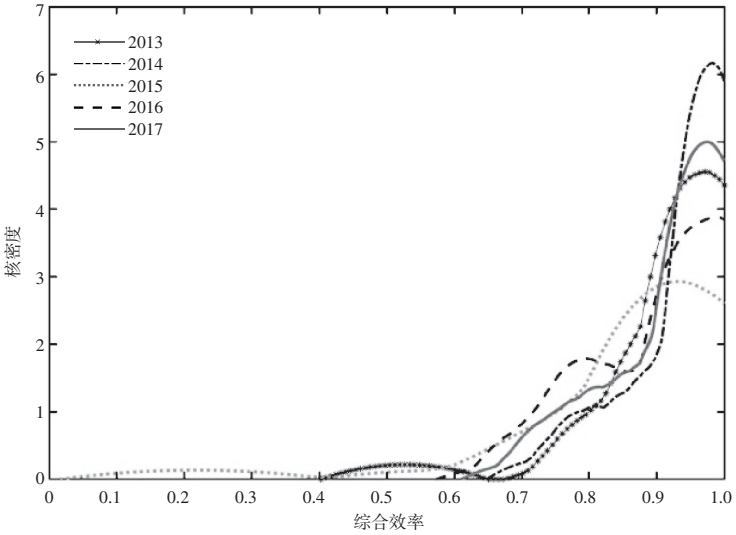

图3　工业企业创新资源配置纯技术效率动态演进图

异相对较小。

Kruskal-Wallis单向方差秩方法（K-W检验）是检验k个独立样本是否来自同分布总体的非参数假设检验方法[20]。该方法只要求样本独立，不受总体分布性质和方差是否相等的限制。原假设为k个总体无显著差异。检验统计量为$H = \frac{12}{n(n+1)}\sum_{i=1}^{k}\frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$，$n_i$为第$i$个样本中观察值的个数，$n = \sum_{i=1}^{k} n_i$，$R_i$为第$i$个样本的秩和。检验结果见表3。

表3　八大区域工业企业资源配置效率分布的K-W检验结果

综合经济区	TE	PTE	SE
	统计量观测值	统计量观测值	统计量观测值
东北综合经济区	0.383（0.826）	4.052（0.132）	3.042（0.219）
北部沿海综合经济区	9.789**（0.020）	9.491**（0.023）	14.936***（0.002）
东部沿海综合经济区	12.522***（0.002）	12.727***（0.002）	11.2***（0.004）
南部沿海综合经济区	0.884（0.347）	2.47（0.116）	6.86***（0.009）
黄河中游综合经济区	15.832***（0.001）	15.113***（0.002）	10.235**（0.017）
长江中游综合经济区	15.826***（0.001）	16.069***（0.001）	15.385***（0.002）
西南综合经济区	12.196**（0.016）	11.025**（0.026）	6.692（0.153）
西北综合经济区	2.136（0.344）	2.725（0.256）	0.767（0.681）

注：括号内数字是对应的p值；**代表通过5%的显著性检验；***代表通过1%的显著性检验。

从区域检验结果来看，东北综合经济区综合效率、纯技术效率与规模效率的K-W检验p值分别为0.826、0.132和0.219，不能拒绝原假设，表明内部3个地区效率分布来自同一个总体。与其他综合经济区相比，东北地区的之间效率差异相对较小但效率总体上处于较低的水平。作为我国的老工业基地，如今东北地区面临着严重的工业研发人才流失，创新激励不足与金融支持弱的外部环境，对工业企业的发展有着严重的抑制作用。未来需进一步加快体制机制的转型与改进，促进管理制度、激励制度与成果转化制度对工业企业创新活动的正向引导。

南部沿海综合经济区综合效率和纯技术效率检验p值分别为0.347、0.116，在5%的显著性水平下，福建和广东的效率总体分布差异不显著。广东和福建作为我国工业发展较好的地区，聚集了大量的工业资源，随着人员、经费等创新要素规模的扩大，虽然总量不同，但同时面临着相应的制度安排和管理水平不能完全发挥投入资源生产潜力的问题，所以造成二者效率水平相对不佳，差异不显著。其中，广东的效率值总体上有逐渐改善的趋势，纯技术效率在2017年达到有效，未来福建可以加强与广东的合作，以广东为标杆，深化制度改革和提升管理水平，优化创新资源配置效率。而广东与福建投入产出规模差异较大，故规模效率分布差异显著。

虽然甘肃、宁夏、新疆这些地区效率波动较大，但西北综合经济区检验结果显示这3个地区效率分布差异并不显著，表明这3个地区的工业发展存在某种共性。随着“一带一路”倡议的实施，这些地区正逐步从原先对外开放的腹地变成对外开放的前沿，未来应积极促进独特的区位优势与能源优势转变成经济优势。

北部沿海综合经济区、东部沿海综合经济区、黄河中游综合经济区、长江中游综合经济区和西南综合经济区内部效率分布均未能在0.05的显著水平下拒绝原假设，可见，总体上我国区域间与区域内部差异依然显著，未来促进地区间的均衡发展可先从缩小区域内部差异开始，再逐渐过渡到区域间的均衡发展。

（四）投入冗余与产出不足分析

资源投入冗余和产出不足是造成综合效率严重无效的表现[21]。如何提升资源配置效率，我们需要分析非有效的地区的创新投入资源冗余和产出不足情况。各地区投入冗余与产出不足研究期内的均值（除去各年效率均为1的安徽与河南地区）见表4。为避免规模无

表4　各地区平均投入冗余与产出不足率

地区	平均投入冗余率（%）				平均产出不足率（%）		
	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1	Y_2	Y_3
北京	39.0	30.2	76.4	8.7	0.0	0.0	177.3
天津	28.8	51.6	71.2	0.0	10.3	4.1	16.4
河北	21.3	18.8	79.5	4.0	12.6	0.0	274.3
山西	4.3	20.5	63.7	22.9	37.7	5.6	250.9
内蒙古	24.9	15.9	87.7	34.8	35.4	23.5	806.9
辽宁	10.9	27.0	64.9	24.1	22.9	0.0	186.6
吉林	7.3	0.0	13.3	12.7	12.0	0.0	94.8
黑龙江	13.3	34.1	49.6	0.0	39.9	7.7	350.0
上海	54.3	53.2	86.8	31.0	16.6	0.0	75.5
江苏	17.0	31.2	66.1	12.0	24.8	0.0	8.6
浙江	0.0	2.0	4.1	0.0	0.5	0.0	0.0
福建	24.3	28.7	77.2	9.2	12.8	8.4	11.7
江西	1.4	0.0	20.5	4.2	0.0	0.0	25.3
山东	27.9	39.1	72.2	16.7	2.9	0.8	178.8
湖北	12.1	38.5	60.4	22.7	10.3	0.0	783.1
湖南	20.9	41.6	35.0	25.9	0.0	0.0	602.8
广东	23.2	26.3	37.7	17.8	4.5	0.0	0.0
广西	5.5	0.0	12.6	3.6	1.2	0.0	113.8
重庆	20.7	19.6	72.6	8.5	0.0	0.4	95.0
四川	9.4	0.0	27.5	0.9	0.0	1.3	162.3
贵州	2.8	0.0	30.2	0.0	0.0	0.0	7.4
云南	0.0	10.0	49.9	3.3	0.0	3.5	420.1
陕西	1.3	38.0	43.8	20.3	16.8	0.0	617.7
甘肃	7.5	3.9	53.4	1.4	0.0	2.6	308.0
宁夏	4.9	0.7	37.7	0.0	0.0	3.0	35.6
新疆	1.8	0.0	25.5	8.3	0.0	0.0	426.1

效影响，表4的无效分析是基于测度纯技术效率模型的计算结果。

综合投入指标情况，投入指标引进技术经费支出/R&D经费内部支出冗余情况最为严重，八大综合经济区内部各地区均有较高的冗余，5年平均冗余率高于50%的省份达到13个，其中超过70%的地区有7个，表明目前我国工业企业强引进、弱消化吸收的现象仍然严重。造成这一现象的原因主要有两个：第一，我国工业企业技术引进经费与消化吸收经费难以均衡配置，以2013—2017年为例，我国工业企业技术引进与消化吸收经费之比分别为1∶0.38、1∶0.37、1∶0.26、1∶0.23和1∶0.30，而日韩等工业强国这一比例为1∶3左右，部分重点领域高达1∶7，远远高于我国工业企业对于引进与吸收经费配置比；第二，低水平技术重复引进，“软性”技术缺乏。由于国外对于核心高端技术的垄断，国内引进技术多以低水平技术为主。而企业为了抢占市场先机，盲目投资于市场风口，由于企业的个体性与独立性，导致同一地区内部和不同地区间的同一行业对低水平技术的重复引进。此外，技术引进多以机器、设备等硬件为主，消耗了大量的资金，技术秘诀、图纸和专利等软性技术缺乏。如何均衡引进与吸收经费的配置、减少重复引进和转变重硬轻软的思维是未来我国工业企业应注意的问题。

从人员劳务费/R&D人员数指标来看，浙江和云南等地区5年平均的冗余率为0，说明这类地区现有制度安排与管理模式能够最大化的利用研发人员的劳动。上海地区5年平均冗余率超过50%，北京地区平均冗余率接近40%，此外，天津、河北、内蒙、福建、山东、湖南、广东和重庆等地区冗余率均超过20%，主要集中在北部沿海综合经济区和南部沿海综合经济区等区域，这些地区同传统西部部分地区相比，经济水平相对更高、基础设施状况相对更完善，且企业福利、劳动报酬等方面更具有竞争力，能够吸引大量的工业人才，但这些经济区工业企业因现行管理方式、内部治理结构和人员激励制度等方面难以匹配工业人才规模的扩展速度，造成劳动要素的拥挤，对创新资源配置效率产生了负向影响。

从R&D经费内部支出/主营业收入指标来看，5年平均冗余率小于5%的非历年有效省份有9个，主要集中在西南综合经济区和西北综合经济区，表明这些地区对于该指标利用较为充分。天津和上海地区平均冗余率超过50%，黑龙江、江苏、山东、湖北、湖南和陕西等地区冗余率均超过30%，从区域层面来看，冗余较为严重的区域主要集中在北部沿海综合经济区、东部沿海综合经济区和南部沿海综合经济区等传统东部地区。总体来说，该指标冗余呈现出一定的两级分化现象，传统西部地区冗余率较低，传统东部地区冗余率较高。

而新产品开发经费项目均值在4个投入指标中冗余相对较小，除河南与安徽外，5年平均冗余率小于10%的省份有15个，其中小于5%的省份有11个。黄河中游综合经济区总体来说冗余最为严重，山西、内蒙古和陕西地区5年的平均冗余率均超过20%。

新产品出口额/新产品销售收入这一指标是企业国际竞争力的体现，最能体现创新产出的质量，而这一产出指标不足最为显著。除浙江与广东地区外，其余地区均有该指标不足的情况，相当部分地区该指标产出不足十分严重。2008年金融危机后，世界经济低迷，贸易保护主义抬头，作为对外依存度较高的中国受到显著影响，国内市场逐渐成为企业销售增长的主要来源；另一方面，工业生产要素成本不断攀升，国际比较优势不断变弱。据美国波士顿咨询公司发布的《成本竞争力指数》，美国相对中国的制造业成本劣势已经缩小到5%以内。从劳动成本来看，2004—2014年，在全球前25位的出口国中，中国和俄罗斯年均工资增长率始终保持在10%～20%，而其他经济体的年均工资增长率仅为2%～3%。从能源成本来看，从2004—2014年，中国工业用电的成本上升约66%，天然气成本增加138%。在要素成本上升和不稳定的国际贸易背景下，未来应突出管理创新与制度创新导向，提高技术引进效率，并发挥我国在大数据、人工智能与互联网领域的优势，促进制造业转型升级，提高新产品附加值，增强产品国际竞争力。

专利申请数/R&D人员全时当量这一指标不足主要集中在东北、黄河中游和东部沿海综合经济区。而新产品开发项目数/R&D项目数这一指标总体上不足最小，平均产出不足率在5%以下的地区占比非历年有效地区数的85%，表明我国工业企业新产品项目开发能力较强。

五、结论与建议

本文借助非导向的ERM模型并结合适应高质量发展背景的效率评价指标，测度了我国28个省市工业企业的创新资源配置效率，并重点关注了效率的动态演进，区域内部差异以及各指标的无效情况。得出如下结论：①我国八大综合经济区工业企业整体创新资源配置综合效率不佳，且多地区工业企业劳动、经费等创

新要素边际收益递减；②2015年之前，我国工业企业创新资源配置综合效率在低值聚集，2015之后，部分地区工业企业创新资源配置综合效率得到改善，逐步向高效率演进。纯技术效率与综合效率的变化趋势基本一致，而规模效率总体上波动较小且处于较高水平；③八大区域中，仅有东北、南部沿海和西北综合经济区内部各省份效率分布差异不显著；④当前我国工业企业同时存在劳动、经费等创新投入资源利用率不高和专利、新产品出口等产出不足的“双因”现象。

基于以上结论，本文认为我国今后首先需要完善工业创新资源管理体制，释放创新资源生产潜力。当前我国工业企业创新活动的相关制度安排（人才激励制度、财务制度以及技术引进消化制度等）不够成熟、管理水平不佳，劳动、经费等创新要素冗余较为严重。通过推动人才激励、创新经费管理体制等方面的改革，充分释放人才创新潜能，提高创新资金使用效率与收益。对于引进技术的消化吸收，应健全对技术引进项目的绩效评估，即当一个地区技术引进项目的绩效未能达到某种要求，那么国家在某一时间段可以减少该地区技术引进项目的支持。此措施也可延伸到相关企业。

其次，充分发挥“互联网+”、人工智能和5G等新理论、新技术在创新资源配置的重要作用。在国际贸易环境不稳定的同时，我国工业企业生产要素成本不断攀升，新产品国际比较优势逐渐变弱。而当前全球制造业已呈现出网络化、智能化、数字化等趋势，人工智能、5G、大数据、深度学习以及移动互联网等新技术、新理论能够渗透于包括研发设计、生产制造、销售和售后服务的各个制造业环节，并重新塑造产业供应链，提高工业新产品附加值，已成为各国公认的新一轮产业变革核心驱动力。这些新技术、新理论的应用是工业企业转型升级的新动能，将充分释放中国科技创新的技术红利，是解决人口红利下降背景下生产成本上升、新产品国际竞争力弱问题的有效途径。

最后，加快跨区域协同创新平台建设，塑造区域协调发展新格局。当前我国地区工业发展不平衡不充分主要是由于工业创新资源在区域间以及区域内部被错配以及创新资源自由流动不畅。未来区域协调发展应尊重客观经济规律，充分发挥不同地区的比较优势。跨区域协同创新平台正是以提高资源配置效率与创新质量为目的，整合各地区在各个生产环节的创新资源，打造功能互补、区域联动、错位竞争的空间布局，实现区域创新体系整体效益最大化的重要机制保障。构建跨区域协同创新平台同时也是推进区域经济一体化的重要举措。

参考文献

[1] 廖直东，代法涛，荣幸．高质量发展的创新驱动路径——基于工业创新产出变化及其驱动效应的LMDI分解[J]．产经评论，2019，10(3)：131-143.

[2] 陈燕儿，蒋伏心，白俊红．中国高技术产业发展的质量检验——基于全要素生产率的视角[J]．研究与发展管理，2018，30(6)：117-127.

[3] 史丹，李鹏．中国工业70年发展质量演进及其现状评价[J]．中国工业经济，2019(9)：5-23.

[4] RAAB R A，KOTAMRAJU P. The efficiency of the high-tech economy：Conventional development indexes versus a performance index[J]. Journal of Regional Science，2006，46(3)：545-562.

[5] ZHANG B，LUO Y，CHIU Y H. Efficiency evaluation of China's high-tech industry with a multi-activity network data envelopment analysis approach[J]. Socio-Economic Planning Sciences，2019，66：2-9

[6] LEE J，KIM C，CHOI G. Exploring data envelopment analysis for measuring collaborated innovation efficiency of small and medium-sized enterprises in Korea[J]. European Journal of Operational Research，2019，278(2)：533-545.

[7] 陈莹文，王美强，陈银银，等．基于改进两阶段DEA的中国高技术产业研发创新效率研究[J]．软科学，2018，32(9)：14-18.

[8] 綦良群，王成东，蔡渊渊．中国装备制造业R&D效率评价及其影响因素研究[J]．研究与发展管理，2014，26(1)：111-118.

[9] 李鸿禧，迟国泰．基于DEA-t检验的以企业为主体的科技创新效率评价[J]．中国管理科学，2016，24(11)：109-119.

[10] 熊曦，窦超，关忠诚，等．基于R&D经费筹集来源的工业企业技术创新效率评价[J]．科技进步与对策，2019，36(3)：130-137.

[11] 胡汉辉，金刚，于斌斌．溢出还是集聚：我国R&D效率的区域关联效应[J]．科学学与科学技术管理，2014，35(6)：67-75.

[12] 徐莉，方梓旭．中国规模以上工业企业R&D效率：评价、影响因素及策略[J]．中国科技论坛，2018(3)：66-72.

[13] 冯宗宪，王青，侯晓辉．政府投入、市场化程度与中国工业企业的技术创新效率[J]．数量经济技术经济研究，2011，28(4)：3-17，33.

[14] 钱丽，陈忠卫，肖仁桥．环境约束下工业企业技术创新效率测算及影响因素分析——以安徽省16个地级市为例[J]．技术经济，2015，34(5)：13-21.

[15] 陈凯华，官建成，寇明婷. 中国高技术产业“高产出、低效益”的症结与对策研究——基于技术创新效率角度的探索[J]. 管理评论，2012，24(4)：53-66.
[16] CHARNES A，COOPER W W，RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research，1978，2(6)：429-444.
[17] BANKER R D. Estimating most productive scale size using data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research，1984，17(1)：35-44.
[18] PASTOR J T，RUIZ J L，SIRVENT I. An enhanced DEA Russell graph efficiency measure[J]. European Journal of Operational Research，1999，115(3)：596-607.
[19] 马洪，王梦奎. 中国发展研究(2003版)[M]. 北京：中国发展出版社，2003.
[20] 吴和成. 应用统计学[M]. 北京：科学出版社，2015.
[21] COOPER W W，SEIFORD L M，ZHU J. Slacks and congestion：Response to a comment by R. Färe and S. Grosskopf[J]. Socio-Economic Planning Sciences，2001，35(3)：205-215.

Studies on Innovation Resource Allocation Efficiency of Industrial Enterprises in China：Evolution，Differentiation and Ascension Paths

Li Jiang，Wu Hecheng
(College of Economics and Management，Nanjing University of Aeronautics and Astronautics，Nanjing 211106，China)

Abstract：Based on the panel data of industrial enterprises in 28 provinces and cities in China from 2013 to 2017，the non-directed ERM model is used to measure the efficiency of innovation resource allocation and indicator invalidity in industrial enterprises，then the kernel density estimation and K-W test are used to make a systematic analysis. The results show that the allocation of innovation resources in China's industrial enterprises is not efficient on the whole and the distribution of efficiency within regions is significantly different，and the marginal returns of innovation factors such as labor and expenditure of industrial enterprises in multiple regions are decreasing. After 2015，some areas with low efficiency shift to high efficiency gradually. The study also finds that the surplus degree in the expenditure input on the technological transfer is serious. Meanwhile，there is much shortage of potential outputs in the proportion of new product export. Therefore，improving the industrial innovation resource management system，advancing the application of new theories and technologies such as “Internet +”，artificial intelligence，and accelerating the construction of a cross-region collaborative innovation platform are worthy paths to improve efficiency.

Keywords：industrial enterprises；resource allocation efficiency；ERM model；dynamic evolution