

# 效率视角下创新型企业关键资源优化配置研究

张晓明<sup>1,2</sup>, 王应明<sup>2</sup>, 施海柳<sup>3</sup>

1. 福建江夏学院教务处, 福建 福州 350108;
2. 福州大学经济与管理学院, 福建 福州 350116;
3. 福建江夏学院电子信息科学学院, 福建 福州 350108)

**摘要:**本文对 DEA 模型进行了改进,使得通过对关键资源不同的优化配置,分别达到关键投入最小化、重要产出最大化、关键投入与重要产出同时最优三种目标。把改进的 DEA 模型用于创新型企业创新活动过程的资源配置与创新效率调整中。研究表明:(1)当目标为关键投入最小化时,对单项关键资源优化配置,可更有针对性并更多地节约特定资源;对多项关键资源配置优化,使资源配置满足不同需要但亦使单项资源的优化空间缩小。(2)当目标为重要产出最大化时,也可通过对关键资源优化配置来实现目标,但由于要获得重要产出的增加,相比情况(1),牺牲了部分关键资源的降低空间。(3)当目标为同时最小化关键投入和最大化重要产出时,同样可以通过关键资源配置优化实现目标,关键资源的优化空间不同于前两者。(4)在通过关键资源优化配置实现以上三个目标的同时,被评价企业由非 DEA 有效单元改进为 DEA 有效单元。

**关键词:**企业创新;关键资源;优化配置;DEA 模型改进

中图分类号:F273.1,F224

文献标识码:A

## 1 引言

当前,我国经济增长模式正从要素驱动向创新驱动转变,创新发展摆到了国家经济发展的核心位置,企业在创新组织体系中占主体地位并起着主导作用,创新型企业则在企业自主创新中起着引领与示范作用。在创新型企业创新发展中,创新效率是其创新能力与创新绩效的重要表征。近年来,我国企业的创新投入在不断加大,R&D 投入总量已居世界前列<sup>[1]</sup>;但投入效率低却是长期存在的问

题<sup>[1,2]</sup>。因此,我国企业要在技术创新中追赶或赶超世界同类企业,创新效率提升是关键。

企业创新资源配置优化与否,则是企业创新效率高低的直接决定因素。“创新理论”奠基人、美国哈佛大学教授熊彼特<sup>[3,4]</sup>强调:技术创新应是人才、物质资本等经济要素的有效组合形成独特的效用,因此,技术创新本身包含着对资源配置的优化。而资源学派成长理论认为,在任何时点上企业间不同资源间的利用程度是不同的,企业的资源短板是客观存在的、可利用的资源是有限的<sup>[5]</sup>,因此,如何优化企业各种资源配置,是提高

收稿日期:2016-12-02;修回日期:2018-01-08.

基金项目:国家自然科学基金项目:基于绩效评价的决策单元的合并与方法研究(71371053),2014.1-2017.12;2017年福建省中青年教育科研项目(科技类):创新型企业发展政策激励模式评价方法研究(JAT170635),2017.8-2019.6;福建省社科规划项目:基于前景理论的并购决策理论与方法研究(FJ2016B087),2016.9-2018.9.

作者简介:张晓明(1973-),女,福建闽侯人,福建江夏学院教务处副教授,福州大学经济与管理学院博士研究生。研究方向:科技创新管理。

王应明(1964-),男,江苏海安人,福州大学经济与管理学院教授,博士生导师。研究方向:决策理论与方法、数据包络分析等。

施海柳(1980-),女,河南驻马店人,福建江夏学院讲师,管理学博士,研究方向:决策理论与方法。

通讯作者:王应明

有限资源利用率的关键。

在企业各种创新资源中,每种资源都有着多种不同的用途<sup>[6]</sup>,有的资源相比其它资源对企业创新绩效提升起着更为关键的作用,相关研究把具备“有价值的、相对稀缺的、不可替代的及可盈利性的”等特征的资源称为“关键资源”<sup>[7]</sup>。对关键资源进行优化配置,则能更有针对性地节约特定资源,使得一方面更充分地发挥关键资源的作用,另一方面能够提高各种资源的整体效用,进而提升企业创新效率。

文献对企业创新资源配置与创新效率两者关系与相互作用方面开展了较丰富的研究。在研究方法上,主要有两大类:一类为包括多元回归分析方法在内的参数方法,另一类为包括数据包络分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA)在内的非参数方法。其中,DEA方法由于其独特的优势近年来被广泛应用,其应用于企业创新效率与资源配置的研究主要包括以下几方面:一是基于DEA方法中较基础的模型,如CCR模型、BCC模型、Malmquist指数模型、超效率模型、交叉效率模型等开展研究<sup>[8-13]</sup>;二是利用DEA两阶段法<sup>[14-17]</sup>、DEA三阶段法<sup>[18-19]</sup>进行研究;三是利用DEA方法与AHP方法相结合<sup>[20,21]</sup>、与灰色模型相结合<sup>[14]</sup>等开展研究;四是在DEA模型的产出中同时考虑期望产出与非期望产出<sup>[22-24]</sup>进行研究。

对上述文献研究分析可知:DEA方法包括多种多样的模型,每种模型各有其理论特点与应用优势,各模型均可对各决策单元的相对效率给予评价,在利用其对偶模型对引起效率差异的资源配置进行解释时,均等地看待每项投入及每项产出,而鲜有文献从“关键资源优化配置”角度在区别对待各投入产出中研究创新效率提升的有效路径;其次,对企业创新效率与资源配置的研究较多在不同地区或不同类型或不同性质的企业整体间进行,极少对不同的企业个体之间进行微观比较研究;第三,研究对象较少针对“创新型企业”这一类有着突出创新能力的特殊创新群体。为补充文献研究的不足,并丰富创新型企业效率提升的有效路径,本文即从效率角度研究创新型企业的资源配置:首先对DEA模型进行改进,利用改进模型实现企业关键资源配置优化,并使非DEA有效企业关键投入最小化,或重要产出最大

化,或同时最小化关键投入和最大化重要产出,进而提高非有效企业的创新效率;然后利用实证分析说明改进DEA模型的合理性与应用优势。

## 2 研究方法

本文研究方法基于DEA传统模型并对其改进。DEA方法是一种用于评价同类型决策单元相对有效性的非参数方法<sup>[25]</sup>,无需预先估计生产函数形式,只需各决策单元原始的投入产出数据即可对效率进行评价,因此应用简便且具有较强的客观性;DEA方法适用于多输入多输出系统效率的评价,因此在评价类似于创新型企业基于多投入多产出的创新效率一类的问题具有明显的优势;利用DEA对偶模型能够对引起效率差异的各非DEA有效单元的投入冗余与产出不足做出解释,并以有效单元为标杆给出非有效单元指标改进的方向和数值。因而近年来DEA方法广泛应用于公司、大学、城市等绩效评估和标杆管理中。作为本研究的基础,下列首先给出DEA模型相关概念,然后再对DEA模型进行改进。

### 2.1 相对效率模型

设 $DMU_j(j=1,2,\dots,n)$ 为 $n$ 个被评价的决策单元,每个决策单元有 $m$ 项不同的投入和 $s$ 项不同的产出, $x_{ij}$ 为第 $j$ 个决策单元的第 $i(i=1,2,\dots,m)$ 项投入; $y_{rj}$ 为第 $j$ 个决策单元的第 $r(r=1,2,\dots,s)$ 项产出。以 $DMU_0$ 为评价对象,一种相对效率模型,即基于投入的CCR-DEA对偶模型为:

$$\begin{aligned} \text{Min } \theta &= \theta_0 \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j + s_i^- &= \theta_0 x_{i0} \\ \sum_{j=1}^n y_{rj}\lambda_j - s_r^+ &= y_{r0} \\ \lambda_j &\geq 0, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \\ i &= 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s; \\ j &= 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \tag{1}$$

模型(1)中,若 $\theta_0 = 1$ ,且 $s_{i0}^- = 0, s_{r0}^+ = 0$ ,则 $DMU_0$ 为DEA有效;若 $\theta_0 = 1$ ,但存在 $s_{i0}^- \neq 0$ 或 $s_{r0}^+ \neq 0$ ,则 $DMU_0$ 为弱DEA有效;若 $\theta_0 < 1$ ,则 $DMU_0$ 为非DEA有效。

当决策单元 $DMU_0$ 为DEA有效时, $DMU_0$ 位于生产前沿面上;当 $DMU_0$ 为非DEA有效或弱

DEA 有效时,可通过对 DMU<sub>0</sub>投入、产出的调整,使其改进成为有效单元。

设非有效或弱有效的 DMU<sub>0</sub>输入输出组合 (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>) 在有效前沿面上的投影为 (x̂<sub>0</sub>, ŷ<sub>0</sub>), 则

$$\begin{aligned} \hat{x}_0 &= \theta_0 x_0 - s_0^- \\ \hat{y}_0 &= y_0 + s_0^+ \end{aligned} \quad (2)$$

即弱有效或非有效单元可以通过减少冗余的投入或增加不足的产出成为有效单元。

## 2.2 DEA 模型的改进

对于创新型企业,不是所有资源同等重要,部分创新资源,如 R&D 经费投入、R&D 专职人员投入等,由于其高价值性、不可替代性等特征,是企业保持竞争力的关键,这种资源即本文所指关键资源。模型(1)对所有资源采取“一视同仁”的优化配置模式,与创新型企业更关注关键资源优化配置的现实不吻合。因此,下文在模型(1)基础上构建新模型,即创新型企业关键资源优化配置 DEA 模型:①最小化关键投入 DEA 模型:在企业保持非关键资源不增加情况下,最大程度减少关键资源投入;②最大化重要产出 DEA 模型:在企业所有成本不增加情况下,在关键资源优化组合中,实现重要产出的最大化;③同时优化关键投入和重要产出的 DEA 模型:企业在非关键成本不增大,非重要产出不减少前提下,实现关键投入降低和重要产出增加的均衡。

### 2.2.1 关键投入最小化的 DEA 模型

对于被评价单元即决策单元 DMU<sub>k</sub>, 设关键投入为 m<sub>1</sub> 个,非关键投入为 m<sub>2</sub> 个,则 DMU<sub>k</sub> 关键投入最小化模型为:

$$\begin{aligned} \text{MaxZ} &= \sum_{i_1=1}^{m_1} s_{i_1 k}^- + \varepsilon \left( \sum_{i_2=1}^{m_2} s_{i_2 k}^- + \sum_{r=1}^s s_{r k}^+ \right) \\ \text{s. t.} \quad &\sum_{j=1}^n x_{i_1 j} \lambda_j = \theta_k x_{i_1 k} - s_{i_1 k}^- \\ &\sum_{j=1}^n x_{i_2 j} \lambda_j = \theta_k x_{i_2 k} - s_{i_2 k}^- \\ &\sum_{j=1}^n y_{r j} \lambda_j = y_{r k} + s_{r k}^+ \\ &\lambda_{j k}, s_{i_1 k}^-, s_{i_2 k}^-, s_{r k}^+ \geq 0, \\ &i_1 = 1, \dots, m_1; i_2 = 1, \dots, m_2; \\ &r = 1, \dots, s; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (3)$$

其中, λ<sub>j</sub>, s<sub>i<sub>1</sub>k</sub><sup>-</sup>, s<sub>i<sub>2</sub>k</sub><sup>-</sup>, s<sub>r k</sub><sup>+</sup> 为变量,且 s<sub>i<sub>1</sub>k</sub><sup>-</sup> 和 s<sub>i<sub>2</sub>k</sub><sup>-</sup> 分别为 DMU<sub>k</sub> 的关键和非关键投入资源的冗余变量

(也称松弛变量), s<sub>r k</sub><sup>+</sup> 为 DMU<sub>k</sub> 产出的不足变量(也称剩余变量), ε 为非阿基米德无穷小量;目标为最大化 s<sub>i<sub>1</sub>k</sub><sup>-</sup>, 即最小化关键资源投入,同时次之考虑优化 s<sub>i<sub>2</sub>k</sub><sup>-</sup> 和 s<sub>r k</sub><sup>+</sup>。

### 2.2.2 重要产出最大化的 DEA 模型

设决策单元 DMU<sub>k</sub> 重要产出为 s<sub>1</sub> 个,非重要产出为 s<sub>2</sub> 个,则 DMU<sub>k</sub> 重要产出最大化模型为:

$$\begin{aligned} \text{MaxZ} &= \sum_{r_1=1}^{s_1} s_{r_1 k}^+ + \varepsilon \left( \sum_{r_2=1}^{s_2} s_{r_2 k}^+ + \sum_{i=1}^m s_{i k}^- \right) \\ \text{s. t.} \quad &\sum_{j=1}^n x_{i j} \lambda_j = \theta_k x_{i k} - s_{i k}^- \\ &\sum_{j=1}^n y_{r_1 j} \lambda_j = y_{r_1 k} + s_{r_1 k}^+ \\ &\sum_{j=1}^n y_{r_2 j} \lambda_j = y_{r_2 k} + s_{r_2 k}^+ \\ &\lambda_{j k}, s_{i k}^-, s_{r_1 k}^+, s_{r_2 k}^+ \geq 0, \\ &r_1 = 1, \dots, s_1; r_2 = 1, \dots, s_2; \\ &i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (4)$$

其中, λ<sub>j</sub>, s<sub>i k</sub><sup>-</sup>, s<sub>r<sub>1</sub>k</sub><sup>+</sup>, s<sub>r<sub>2</sub>k</sub><sup>+</sup> 为变量,且 s<sub>r<sub>1</sub>k</sub><sup>+</sup> 和 s<sub>r<sub>2</sub>k</sub><sup>+</sup> 分别为 DMU<sub>k</sub> 的重要和非重要产出的不足变量, s<sub>i k</sub><sup>-</sup> 为 DMU<sub>k</sub> 投入的冗余变量;目标为最大化 s<sub>r<sub>1</sub>k</sub><sup>+</sup>, 即最大化重要产出,同时次之考虑优化 s<sub>r<sub>2</sub>k</sub><sup>+</sup> 和 s<sub>i k</sub><sup>-</sup>。

### 2.2.3 关键投入与重要产出同时优化的 DEA 模型

设决策单元 DMU<sub>k</sub> 的关键、非关键投入分别为 m<sub>1</sub>、m<sub>2</sub> 个,重要、非重要产出分别为 s<sub>1</sub>、s<sub>2</sub> 个,则对 DMU<sub>k</sub> 关键投入与重要产出同时优化的模型为:

$$\begin{aligned} \text{MaxZ} &= \sum_{i_1=1}^{m_1} s_{i_1 k}^- + \sum_{r_1=1}^{s_1} s_{r_1 k}^+ + \varepsilon \left( \sum_{i_2=1}^{m_2} s_{i_2 k}^- + \sum_{r_2=1}^{s_2} s_{r_2 k}^+ \right) \\ \text{s. t.} \quad &\sum_{j=1}^n x_{i_1 j} \lambda_j = \theta_k x_{i_1 k} - s_{i_1 k}^- \\ &\sum_{j=1}^n x_{i_2 j} \lambda_j = \theta_k x_{i_2 k} - s_{i_2 k}^- \\ &\sum_{j=1}^n y_{r_1 j} \lambda_j = y_{r_1 k} + s_{r_1 k}^+ \\ &\sum_{j=1}^n y_{r_2 j} \lambda_j = y_{r_2 k} + s_{r_2 k}^+ \\ &\lambda_{j k}, s_{i_1 k}^-, s_{i_2 k}^-, s_{r_1 k}^+, s_{r_2 k}^+ \geq 0, \\ &i_1 = 1, \dots, m_1; i_2 = 1, \dots, m_2; \\ &r_1 = 1, \dots, s_1; r_2 = 1, \dots, s_2; \\ &j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (5)$$

模型(5)变量与目标含义类似模型(3)、(4)解释。

由模型(3) - (5),可通过对关键资源的优化配置,分别实现各模型中的目标,进而使弱 DEA 有效或非 DEA 有效单元改进成为 DEA 有效单元。

### 3 实证分析

#### 3.1 研究样本

研究样本取自福建省第七批共 179 家省级创新型企业(含国家级创新型(试点)企业)。为使样本具有代表性,采用简单随机抽样抽取样本。样本所含 30 个个体即 30 家创新型企业,每一家企业看作 DEA 模型中的一个决策单元。研究数据取自此 30 家企业 2014 年度评估数据。

#### 3.2 评价指标体系

参考国家级与省级创新型企业评估主要指标<sup>[26,27]</sup>,建立创新型企业创新效率评价指标体系。指标选择说明如下:(1)投入指标:研发经费与研发人员是企业开展创新活动的基本与重要保障;职工教育经费是创新型企业主要用于提升员工创新能力的培训投入;研发机构是企业创新的研发设施条件;科技计划项目虽然包含政府对企业的创新活动的经费支持但在创新型企业评估数据统计过程中并未把此资助费用统计在研发经费中,且科技计划项目同时体现企业专项研究团队力量对创新活动开展的重要影响及为创新专项研究奠定的基础,因而作为一项独立投入指标;企业创新管理情况包括企业创新发展规划、知识产权管理制度、创新激励制度等建立情况及银行信用等级,这些制度等作为一种实现创新资源优化组合的手段或机制,是一种创新的非资源性投入要素。总体而言,创新投入状况体现了企业资源配置的导向,是反映企业创新意识、衡量企业创新动力的重要指标<sup>[26]</sup>。(2)产出指标:专利申请量反映了企业创新活跃程度和实现状况;技术标准与专利类似也是企业自主知识产权的重要体现;科技获奖数则代表了企业创新技术水平<sup>[28]</sup>;新产品(工艺、服务)销售收入(简称新产品销售收入)直接反映企业通过创新实现经济效益的情况<sup>[26]</sup>;主

营业务收入、利润及上缴税费则间接反映创新型企业主要由于创新而实现的经济效益。全员劳动生产率指企业年增加值与企业全体员工数量的比<sup>[26]</sup>,是企业生产技术水平、经营管理水平、职工技术熟练程度和劳动积极性的综合表现<sup>[29]</sup>。为研究需要,部分指标采用比重形式:①企业研发经费投入比重为企业研发经费支出总额占企业主营业务收入比例;②企业研发人员比重为企业专职 R&D 人员数占企业从业人员数比例;③企业用于职工教育经费比重为企业用于职工教育、培训、学习经费支出占企业职工工资总额比例。各具体指标及变量标识如表 1 所示。

表 1 创新型企业创新效率评价指标体系

Table 1 Innovation efficiency evaluation index system of innovative enterprises

创新投入	研发经费投入比重( $x_1$ )
	研发人员比重( $x_2$ )
	职工教育经费比重( $x_3$ )
	内部研发机构数( $x_4$ )
	千名 R&D 人员承担科技计划项目数( $x_5$ )
	企业创新管理情况( $x_6$ )
创新产出	千名 R&D 人员专利申请数( $y_1$ )
	千名 R&D 人员标准数( $y_2$ )
	千名 R&D 人员获奖数( $y_3$ )
	主营业务收入( $y_4$ )
	新产品销售收入( $y_5$ )
	实现利润总额( $y_6$ )
	上缴税费总额( $y_7$ )
	全员劳动生产率( $y_8$ )

#### 3.3 模型求解及结果分析

以下在由模型(1)得到相对效率的基础上,利用改进的模型(3) - (5)对不同目标下的关键资源优化配置进行分析。各模型的求解均可通过 Excel 规划求解或 Lingo、Matlab 等工具完成。

##### 3.3.1 相对效率及结果分析

利用模型(1)计算可得 30 个决策单元即 30 家企业的相对效率值如表 2 所示。

表 2 30 家创新型企业相对效率  
Table 2 Relative efficiencies of 30 innovative enterprises

企业	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
相对效率( $\theta$ )	0.63	1	0.70	1	1	1	1	0.96	1	1	1	1	1	1	1
企业	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
相对效率( $\theta$ )	1	0.68	0.92	0.37	1	0.83	1	1	1	1	1	1	1	1	1

由表 2 可知,30 家创新型企业中 2、4、5 等 23 家企业  $\theta$  值等于 1,且又由模型(1)计算得各企业相应的  $s_i^- = s_i^+ = 0$ ,因此这 23 家企业均为 DEA 有效的。由于所研究企业均为各级科技等部门根据一定条件评选出的国家级或省级创新型企业,因此大多数企业创新能力强,具有效率的 DEA 有效性。但同时,也存在 7 家企业为非 DEA 有效的 ( $\theta < 1$ ),为实现创新型企业整体更为均衡、高效地发展,下文着重通过对这 7 家非 DEA 有效企业的关键资源配置优化,提升其创新效率,使其改进成为 DEA 有效单元。

### 3.3.2 关键投入最小化时关键资源优化配置分析

(1) 单项关键资源优化配置。本文研究的创新型企业创新投入共 6 项,根据关键资源含义并结合企业创新活动实际情况,决策者可定义不同投入项为关键资源。当以“R&D 经费投入比重  $x_1$ ”为关键资源时,根据模型(3)得 7 家非有效企业松弛变量  $s_{1k}^- (k = 1, 3, 8, 17, 18, 19, 21)$  最大值,即投入最大减少量。再由公式(2)得此 7 家企业关键资源优化前后的数量变化情况,见图 1。

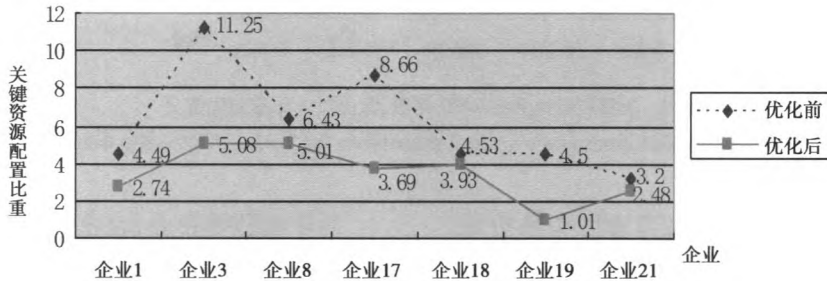


图 1 7 家非 DEA 有效企业 R&D 经费投入比重变化情况

Figure 1 Changes of the R&D funds proportion for 7 non-DEA-effective enterprises

由图 1 可知,资源配置优化后,7 家企业的关键资源“R&D 经费投入比重”均得到不同程度减少,说明非有效企业在关键资源投入上均有优化的空间,不同企业优化空间大小不同。

(2) 非关键资源投入量变化状况。关键资源投入减少,同时须避免非关键资源投入量异常,否则可能得不偿失。以企业 18 为例,表 3 列出关键资源优化前后,非关键资源投入量变化情况(由模型(3)解得)。

由表 3 可知,企业 18 关键资源 R&D 经费投入比重优化后,除关键资源有效减少,其它 4 项非关键投入量也呈现不同程度减少。由此验证了改进的模型(3)不仅优化关键投入,同时保证非关

键投入至少不增加。

表 3 关键资源优化下企业 18 各项投入变化情况

Table 3 Changes of 18 items of input for enterprises under optimization of key resources

各项投入	$x_{1,18}$	$x_{2,18}$	$x_{3,18}$	$x_{4,18}$	$x_{5,18}$	$X_{6,18}$
优化前	4.53	25.36	2.30	7	0	12
优化后	3.93	22.67	2.12	4.28	0	10.57

(3) 关键资源优化与所有资源同等优化结果比较。为突出模型(3)对“关键资源”优化配置的意义,将其配置结果与所有资源同等优化配置时关键资源配置情况(由模型(1)得)进行比较,见

表 4, 其中仍以“R&D 经费投入比重”为关键资源。

表 4 两种优化方案下的企业关键资源变化情况

Table 4 Changes of key resources for enterprises under two optimization schemes

关键资源	$x_{1,1}$	$x_{1,3}$	$x_{1,8}$	$x_{1,17}$	$x_{1,18}$	$x_{1,19}$	$x_{1,21}$
关键资源优化结果	2.74	5.08	5.01	3.69	3.93	1.01	2.48
所有资源同等优化结果	2.74	5.08	5.01	3.75	4.17	1.01	2.66

由表 4 可知, 7 家非有效企业“关键资源优化”后所得 R&D 经费投入比重值均小于等于“所有资源同等优化”后所得相应值, 由此表明关键资源优化配置方法在减少投入方面更具针对性。

(4) 多项关键资源优化配置。由模型(3)既可实现对单项关键资源优化配置, 也可实现对多项关键资源优化配置。由于创新型企业最关注的创新投入项可能含多个, 如同时含 R&D 经费投入比重  $x_1$  和 R&D 人员比重  $x_2$ , 利用模型(3)、(2)计算可得 7 家非有效企业这两项关键资源同时优化前后投入量变化情况, 见图 2。

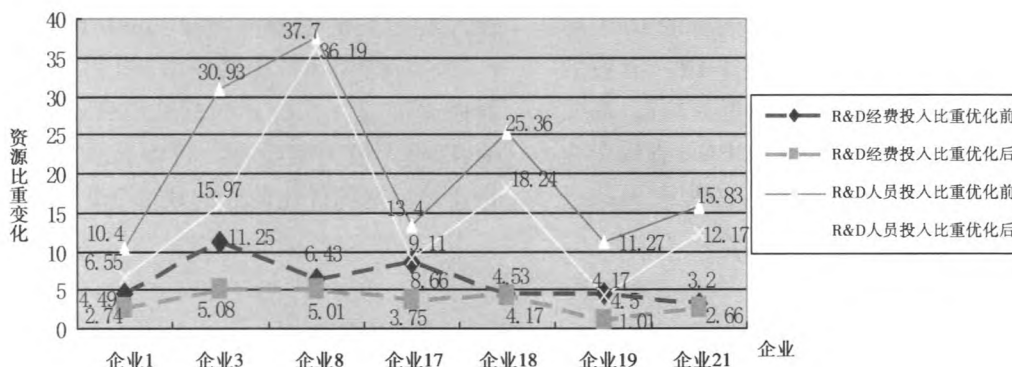


图 2 7 家非有效企业 R&D 经费、人员投入比重变化情况

Figure 2 Changes of R&D funds and personnel proportions for 7 non-DEA-effective enterprises

对照图 2 与图 1 数据可知, 当考虑单项资源为关键资源与考虑两项资源同时为关键资源时, 资源配置效果不同。如企业 21, 只考虑 R&D 经费投入比重为关键资源时, 优化配置后的 R&D 经费投入比重为 2.48; 而考虑同时以 R&D 经费、人员投入比重为关键资源时, 优化配置后的 R&D 经费投入比重为 2.66。显然考虑多项投入资源作为关键资源进行优化时, 对于单项投入优化空间更小, 亦即优化涉及指标越多, 单个指标的优化空间越小。因此, 决策者应以本企业的各项资源特点为依据确定关键资源项, 达到针对性节约资源的目的。

### 3.3.3 重要产出最大化时关键资源优化配置分析

以上研究均基于关键投入最小化时实现关键资源优化配置, 进而提升企业创新效率。而考虑重要产出最大化为目标的资源配置方法同样可提升企业创新效率。

对于创新型企业, 自主创新是关键, 专利申请量是其自主创新成果的最重要体现, 因此, 以专利申请数  $y_1$  为重要产出, 考虑最大化  $y_1$  时关键资源  $x_1$  配置优化。利用模型(4)计算可得此时  $x_1$  与  $y_1$  数值如表 5 中“最大化产出结果”所示。为说明关键资源配置方案的变化, 表 5 同时列出以最小化单项关键资源为目标时的关键资源  $x_1$  和重要产出  $y_1$  数值如表 5 中“最小化投入结果”所示进行比较。

由表 5 可知:(1)“最大化产出结果”相比“优化前”数据, 7 个企业  $x_1$  均呈不同程度减少, 而对于  $y_1$ , 企业 1、3、8、17 没有提高, 企业 18、19、21 小幅度增加, 说明企业 1、3、8、17 的非有效性主要是由于投入冗余造成的。(2)“最大化产出结果”相比“最小化投入结果”, 企业 17、18、19、21 的  $x_1$  减少幅度较小, 同时企业 18、19、21 的  $y_1$  增加。由此说明基于重要产出优化的资源配置, 牺牲了部分关键资源降低空间, 获得重要产出增加。

表5 两种优化方案下企业关键资源与重要产出变化情况

Table 5 Changes of key resources and important output for enterprises under two optimization schemes

企业	优化前		最小化投入结果		最大化产出结果	
	$x_1$	$y_1$	$x_1$	$y_1$	$x_1$	$y_1$
1	4.49	722.22	2.74	722.22	2.74	722.22
3	11.25	1291.67	5.08	1291.67	5.08	1291.67
8	6.43	1239.13	5.01	1239.13	5.01	1239.13
17	8.66	1365.38	3.69	1365.38	3.75	1365.38
18	4.53	514.29	3.93	514.29	4.17	629.07
19	4.50	125	1.01	125	1.06	142.53
21	3.20	1159.09	2.48	1159.09	2.66	1163.89

### 3.3.4 同时最小化关键投入与最大化重要产出时关键资源优化配置分析

非DEA有效企业可以通过资源优化配置实现创新效率的提高,模型(3)通过最小化关键投入实现,模型(4)通过最大化重要产出完成。实际应用中,有时重要产出的增加和关键投入的减少对于创新型企业均重要,为此有必要考虑重要产出和关键投入均衡问题。若同时考虑以R&D人员投入比重 $x_2$ 最小化和专利申请数 $y_1$ 最大化为目标,利用模型(5)得5家非有效企业关键资源 $x_2$ 与重要产出 $y_1$ 数值如表6中“同时优化投入与产出结果”所示。为说明目标不同时资源配置方案差异,表6同时列出同时最小化两项关键资源 $x_1$ 与 $x_2$ 为目标时 $x_2$ 与 $y_1$ 数值如表6中“优化两项投入结果”所示。

表6 两种优化方案下企业关键资源与重要产出变化情况

Table 6 Changes of key resources and important output for enterprises under two optimization schemes

企业	优化前		同时优化投入与产出结果		优化两项投入结果	
	$x_2$	$y_1$	$x_2$	$y_1$	$x_2$	$y_1$
1	10.40	722.22	6.55	722.22	6.55	722.22
3	30.93	1291.67	15.97	1291.67	15.97	1291.67
8	37.70	1239.13	36.19	1239.13	36.19	1239.13
17	13.40	1365.38	9.11	1365.38	9.11	1365.38
18	25.36	514.29	23.33	514.29	18.24	514.29
19	11.27	125	4.17	142.53	4.17	125
21	15.83	1159.09	13.14	1163.89	12.17	1159.09

由表6可知:(1)相比“优化前”数值,两种优化方案下各企业关键资源 $x_2$ 均得到不同程度减少,“优化两项投入”方案的重要产出 $y_1$ 在7个企业中没有变化,“同时优化投入与产出”方案下,企业19、21的 $y_1$ 呈现不同程度增加,其他企业 $y_1$ 不变,说明两种方案均能起到优化关键资源、提升效率的成效。(2)对比“同时优化两项投入”方案结果,“同时优化投入与产出”方案下企业18、21关键资源 $x_2$ 投入量较多,即 $x_2$ 优化空间减小;企业19、21重要产出 $y_1$ 增大。因而对部分企业,“同时优化投入与产出”方案兼顾关键投入和重要产出的可优化空间,适当牺牲了关键资源的减少量,赢得更多重要产出的增加。

## 4 主要研究结论及启示

### 4.1 研究结论

本文对DEA模型进行了改进,使通过主要针对关键资源的配置优化,实现企业创新过程关键投入最小化、重要产出最大化、关键投入与重要产出同时最优三种目标。改进的三个DEA模型应用于创新型企业创新效率提升路径研究中,丰富了效率提升的有效路径;改进的模型适用于创新型企业对关键资源的特殊要求与控制。研究结果表明:(1)当目标为关键投入最小化时,对单项关键资源优化配置,可更有针对性并更多地节约特定资源;对多项关键资源配置优化,使资源配置满足不同需要但亦使单项资源的优化空间缩小。(2)当目标为重要产出最大化时,也可通过对关键资源优化配置来实现目标,但由于要获得重要产出的增加,相比情况(1),牺牲了部分关键资源的降低空间。(3)当目标为同时最小化关键投入和最大化重要产出时,同样可以通过关键资源配置优化实现目标,关键资源的优化空间不同于前两者。(4)在通过关键资源优化配置实现以上三个目标的同时,非DEA有效企业的创新效率得到不同程度提升,并改进成为有效企业。

### 4.2 研究启示

(1)创新驱动经济发展,企业是创新的主体。在企业创新发展中,资源的优化配置是取得理想创新绩效的有效途径,而关键资源的优化配置则能够在提升创新效率的同时,更有针对性地节约资源,并更好地满足社会对特定创新成果的需求。

(2)通过微观层面的量化分析和比较,各创新型个体能够更加明确自身在创新资源方面存在的短板,进而根据提升创新效率的需要及时优化资源特别是关键资源的配置,提升关键资源利用率,并提高各种资源的整体效用。

(3)作为创新型企业管理者的政府,可以在对创新型企业进行年度评估过程中,根据各个企业资源配置情况及对关键资源的需求,出台个性化政策,有针对性地支持与鼓励不同的企业个体,使各创新型企业在获得最需要资源的帮助中快速发展、引领创新。

(4)政府或金融机构或其它社会力量对创新型企业在资金等方面的进一步投入可转化为企业的内部资源,因此,创新型企业内部资源特别是关键资源的优化配置研究也为社会资源的重新投入或再分配提供了依据,可提升社会创新资源整体利用率。

## 参考文献:

- [1] 李培楠,赵兰香,万劲波. 创新要素对产业创新绩效的影响—基于中国制造业和高技术产业数据的实证分析[J]. 科学学研究,2014,32(4):604-612.  
Li Peinan,Zhao Lanxiang,Wan Jinbo. The impact of innovation factors on industry innovation performances: An empirical analysis based on Chinese manufacturing and high technology industries [J]. Studies in Science of Science,2014,32(4):604-612.
- [2] 张玉臣,吕宪鹏. 高新技术企业创新绩效影响因素研究[J]. 科研管理,2013,34(12):58-65.  
Zhang Yuchen,Lv Xianpeng. A study of high-tech firms' innovation performance and its determinants [J]. Science Research Management,2013,34(12):58-65.
- [3] 陈劲,陈钰芬. 开放创新体系与企业技术创新资源配置[J]. 科研管理,2006,27(3):1-8.  
Chen Jin,Chen Yufen. Total innovation management under open environment [J]. Science Research Management,2006,27(3):1-8.
- [4] 刘艳,丘磐. 企业内部创新资源效率的理论及实证研究——基于对珠三角地区中小制造企业的调查分析[J]. 科技管理研究,2010(17):1-9.  
Liu Yan,Qiu Pan. Theory and empirical research on the allocation efficiency of the enterprises internal innovative resource: Based on the investigation on Pearl River Delta manufacturing enterprises [J]. Science and Technology Management Research,2010(17):1-9.
- [5] 陈宁,常鹤. 企业合作创新策略与资源配置模式研究[J]. 科学学研究,2012,30(12):1910-1918.  
Chen Ning,Chang He. Research on innovation cooperation strategy and resource model of enterprises [J]. Studies in Science of Science,2012,30(12):1910-1918.
- [6] 方润生,李垣. 企业关键资源及其形成与配置机制[J]. 南开管理评论,2001(4):6-10.  
Fang Runsheng,Li Yuan. The growth mechanism and the disposition mechanism of key resources in enterprises [J]. Nankai Business Review,2001(4):6-10.
- [7] 陈劲,吴波. 开放式创新下企业开放度与外部关键资源获取[J]. 科研管理,2012,33(9):10-21.  
Chen Jin,Wu Bo. The impact of openness on the acquisition of external key resources by enterprises with open innovation [J]. Science Research Management,2012,33(9):10-21.
- [8] Banker R D,Charnes A,Cooper W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis [J]. Management Science,1984,30(9):1078-1092.
- [9] Hashimoto A,Haneda S. Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry [J]. Research Policy,2008,37(10):1829-1836.
- [10] Zhong W,Yuan W,Li S X, et al. The performance evaluation of regional R&D investments in China: An application of DEA based on the first official China economic census data [J]. Omega,2011,39(4):447-455.
- [11] 陆建芳,戴炳鑫. 企业技术中心技术创新资源配置效率评价[J]. 科研管理,2012,33(1):19-26.  
Lu Jianfang,Dai Bingxing. Efficiency evaluation of technology innovation resource allocation for the technical centers in enterprises [J]. Science Research Management,2012,33(1):19-26.
- [12] Doyle J,Green R. Efficiency and cross-efficiency in DEA: Derivations, meanings and uses [J]. Journal of the Operational Research Society,1994,45(5):567-578.
- [13] Wang Y M,Chin K S. A neutral DEA model for cross-efficiency evaluation and its extension [J]. Expert Systems with Applications,2010,37(5):3666-3675.
- [14] Wang C N,Nguyen N T,Tran T T, et al. A study of the strategic alliance for EMS industry: The application of a hybrid DEA and GM (1,1) approach [J]. The Scientific World Journal,2015.
- [15] Afzal M N I. An empirical investigation of the National Innovation System (NIS) using Data Envelopment Analysis (DEA) and the TOBIT model [J]. International Review of Applied Economics,2014,28(4):507-523.
- [16] Guan J,Chen K. Measuring the innovation production process: A cross-region empirical study of China's high-tech innovations [J]. Technovation,2010,30(5):348-358.
- [17] Lee K,Kang S M. Innovation types and productivity growth: Evidence from Korean manufacturing firms [J]. Global Economic Review,2007,36(4):343-359.
- [18] 沈能,王群伟. 中国能源效率的空间模式与差异化节能路径—基于DEA三阶段模型的分析[J]. 系统科学与数学,



- 2013, 33(4):457-467.
- Shen Neng, Wang Qunwei. Spatial patterns of energy efficiency and different energy-saving paths in China - Based on three-stage DEA model [J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2013, 33(4):457-467.
- [19] Kasap Y, Konuk A, Gasimov R, et al. The effects of non-controllable factors in efficiency evaluation of Turkish coal enterprises [J]. Energy, Exploration & Exploitation, 2007, 25(6):429-450.
- [20] Han Y, Geng Z. Energy efficiency hierarchy evaluation based on data envelopment analysis and its application in a petrochemical process [J]. Chemical Engineering & Technology, 2014, 37(12):2085-2095.
- [21] 罗思民. 创新基金项目后绩效评价—基于福建省数据的实证研究[J]. 技术与创新管理, 2014, 35(6):567-571.
- Luo Simin. A study on the after-performance evaluation of innovation fund project - A case study of Fujian Province [J]. Technology and Innovation Management, 2014, 35(6):567-571.
- [22] Zhang H, Su X, Ge S. A slacks-based measure of efficiency of electric arc furnace activity with undesirable outputs [J]. Journal of Service Science and Management, 2011, 4(2):227.
- [23] Goto M, Otsuka A, Sueyoshi T. DEA (Data Envelopment Analysis) assessment of operational and environmental efficiencies on Japanese regional industries [J]. Energy, 2014, 66:535-549.
- [24] Sueyoshi T, Goto M. Environmental assessment for corporate sustainability by resource utilization and technology innovation; DEA radial measurement on Japanese industrial sectors [J]. Energy Economics, 2014, 46:295-307.
- [25] 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.
- [26] 中国创新型企业发展报告编委会. 2013~2014 中国创新型企业发展报告[M]. 经济管理出版社, 2015.
- Editorial board of China innovative enterprises development report. China innovative enterprises development report 2013~2014 [M]. Economy & Management Press, 2015.
- [27] 福建创新型企业发展报告编写研究组. 2012~2014 福建创新型企业发展报告[M]. 福建科学技术出版社, 2015.
- Research group of Fujian innovative enterprises development report. Fujian innovative enterprises development report 2012~2014 [M]. Fujian Science & Technology Publishing House, 2015.
- [28] 柴玮, 申万, 毛亚林. 基于 DEA 的我国资源型企业科技创新绩效评价研究[J]. 科研管理, 2015, 36(10):28-34.
- Chai Wei, Shen Wan, Mao Yalin. Innovation performance evaluation of China's resource enterprise based on DEA [J]. Science Research Management, 2015, 36(10):28-34.
- [29] 张赤东, 王元. 企业创新的动机: 来自市场需求的激励—基于国家级创新型企业全样本调查问卷分析[J]. 中国科技论坛, 2014(4):74-79.
- Zhang Chidong, Wang Yuan. Innovating motivation of firms: From a spurring of market demand - Based on a questionnaire analysis of the full sample of national innovation-oriented enterprises [J]. Forum on Science and Technology in China, 2014(4):74-79.

## A study of the optimal allocation of key resources in innovative enterprises from the perspective of efficiency

Zhang Xiaoming<sup>1,2</sup>, Wang Yingming<sup>2</sup>, Shi Hailiu<sup>3</sup>

(1. Department of Teaching Affairs, Fujian Jiangxia University, Fuzhou 350108, Fujian, China;

2. School of Economics and Management, Fuzhou University, Fuzhou 350116, Fujian, China;

3. School of Electronic Information Science, Fujian Jiangxia University, Fuzhou 350108, Fujian, China)

**Abstract:** In this paper, the DEA model is improved so that through optimization of key resources we can minimize key inputs, or maximize important output, or optimize both simultaneously. The improved DEA model is used to optimize allocation of resources and adjust efficiency of innovation. The research shows that (1) when the target is minimization of key inputs, optimal allocation of single key resources can be more targeted and more economical; optimal allocation of multiple key resources can not only meet different needs but also reduce the optimized space of individual resources; (2) when the target is maximization of important output, it can also be achieved by optimizing allocation of key resources, but due to increase in important output compared to case (1), it sacrifices some critical resources to reduce space; (3) when the objective is to minimize critical inputs and maximize critical outputs, the objective can also be achieved through optimization of allocation of key resources, and the key resources of optimization space is different from the first two; and (4) when we achieve the above three goals through optimization of key resources, the evaluated enterprises are improved from a non-DEA-effective unit to a DEA-effective unit.

**Keywords:** enterprise innovation; key resources; optimal allocation; improvement of DEA model