[文章编号] 1003－4684(2025)03-0001-05

中国医药研发外包企业技术创新效率评价研究

张 熠[1,2,3]，焦飞飞[1]

(1 湖北工业大学经济与管理学院，湖北 武汉 430068；
2 湖北数字工业经济发展研究中心，湖北 武汉 430068；3 湖北工业研究院，湖北 武汉 430068)

[摘 要] 医药研发外包企业技术创新效率的提升，对整个医药行业的发展具有引领和推动作用。为探究中国医药研发外包企业的技术创新效率变化情况，通过构建技术创新效率评价指标体系，选取 2022 年我国医药研发外包 26 家上市企业的投入产出数据，基于数据包络分析模型对其技术创新效率展开全面分析。研究发现：中国医药研发外包企业中，达到 DEA 有效的企业有 4 家，占比仅为 15.4%，但 26 家上市企业的综合效率、纯技术效率、规模效率的平均值分别为 0.838、0.924、0.909，表明整体技术创新效率处于较高水平；73.1%的企业呈现规模收益递增态势；导致上市企业非 DEA 有效的主要原因是固定资产存在冗余，且净利润产出不足。最后，基于研究结论，分别从国家层面、行业层面和企业层面提出相关对策建议。

[关键词] 医药研发外包；上市企业；技术创新；效率；数据包络分析模型
[中图分类号] F273.1 [文献标识码] A

技术创新一直是医药行业发展的核心驱动力。尤其是对于专注于技术创新的医药研发外包企业(contract research organization，CRO)而言，提升其技术创新效率，对整个医药行业的发展具有引领和推动作用。长期以来，新药研发和临床试验都是医药企业面临的痛点和难点。一方面，研发工作本身存在高投入、长周期、低成功率等问题；另一方面，医药企业面临创新药和仿制药的市场博弈、新药纳入医保目录，以及入院推广等多重挑战。因此，大部分医药企业选择裁撤新药研发团队和临床试验团队，采用外包的形式，将相关工作交由 CRO 企业，以此缩短研发周期、降低研发风险[1]。由此可见，科学评价 CRO 企业的技术创新效率，对增强其技术创新能力、推动医药行业健康可持续发展，具有重要的理论意义和现实意义。

Schumpete 于 1912 年首次提出了技术创新的概念，将其定义为新元素和新技术的结合。在此基础上，Farrell[2]于 1957 年提出了技术创新效率的概念，将其界定为生产一定数量产品所需的最低成本与实际生产成本之比。在此后的研究中，技术创新效率的概念被进一步拓宽和重新定义。Leibenstein[3]认为技术创新效率是保持要素价格和投入比例不变的情况下，实际产出与最大化产出之间的比值。Afriat[4]认为技术创新效率是研发创新活动中投入产出的转化能力。此后学者大都采用这一定义。由此可见，研究技术创新效率本质上是分析技术创新投入与技术创新产出之间的关系，即技术创新资源配置问题。本文通过梳理相关文献发现针对中国医药行业技术创新效率的研究主要集中于宏观区域医药制造业。赖红波等[5]认为规模效率是制约产业技术创新效率提升的主要因素。李缘等[6]研究发现政府政策激励作用下我国医药制造业创新效率整体处于较低水平，并且技术研发效率高于成果转化效率。周世新等[7]认为我国各省医药制造业的技术创新效率存在较大地区差异性，仅有少数省份属于“高研发-高转化”型。少量文献关注到了微观医药企业的技术创新效率。熊阿珍等[8]测算了我国沪深前 15 位医药上市公司，发现各企业技术创新效率差距较大，并且纯技术效率是影响企业技术创新效率的主要因素。尹述颖等[9]测算了我国沪深 103 家医药上市企业的技术创新效率，发现技术创新具有阶段性，创新生成成果促进了创新成果转化。

综合来看，医药行业的技术创新效率是学者们关注的重点，但相关研究仍存在一些不足：一是现有研究多从宏观角度探索我国区域医药制造业技术创新效率问题，对微观企业技术创新效率的研究较为

[收稿日期] 2023－09－15
[基金项目] 国家自然科学基金(71904046)
[第一作者] 张 熠(1982－)，女，湖北咸宁人，管理学博士，湖北工业大学教授，研究方向为企业技术创新管理、决策分析与评价。
[通信作者] 焦飞飞(1996－)，男，河南永城人，湖北工业大学硕士研究生，研究方向为企业技术创新管理。

欠缺;二是虽有少量文献针对医药企业技术创新效率问题进行了探索,但未能考虑医药行业不同细分领域的企业间可能存在的异质性影响。鉴于此,本文以专注研发创新的CRO企业为研究对象,通过构建技术创新评价指标体系,运用数据包络分析(DEA)模型,对我国CRO上市企业的技术创新效率进行整体分析和内部剖析。研究结论可为增强CRO企业的技术创新能力、提高其技术创新效率提供科学参考。

1 指标体系构建

CRO企业属于典型的高新技术企业,而技术创新效率的测度评价研究一般分为创新投入和创新产出两个维度[10]。本文通过系统梳理企业技术创新效率评价研究高频指标[11-13],结合高新技术企业高研发投入、高技术要求、高产品附加值等特征,按照全面性、科学性、系统性、可操作性的设计原则,运用理论分析法和专家咨询法,从创新投入、产出维度来构建CRO企业技术创新效率评价指标体系(表1)。其中,创新投入维度包含研发经费、研发人员、固定资产三个指标,研发经费和固定资产是企业开展创新活动的基础,研发人员是进行技术创新活动的攻坚力量;创新产出维度包含产品销售收入、净利润、专利数三个指标,产品销售收入和净利润是企业的主要经营成果,反映了企业的盈利能力,专利数是企业技术创新成果最直接的测度指标。

表1 CRO企业技术创新效率评价指标体系

一级指标	二级指标	指标测度	单位
创新投入	研发经费 x_1	上市公司当年研发经费金额	百万元
	研发人员 x_2	上市公司当年研发人员数量	人
	固定资产 x_3	上市公司当年固定资产净值	百万元
创新产出	产品销售收入 y_1	上市公司当年营业总收入	百万元
	净利润 y_2	上市公司当年期末净利润	百万元
	专利数 y_3	上市公司当年专利申请数	个

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

本文选择产出导向的DEA-BCC模型进行CRO企业技术创新效率评价研究。Charnes等[14]于1978年提出了第一个DEA-CCR模型,但该模型只能计算规模报酬不变条件下的综合效率值(TE),无法衡量决策单元的纯技术效率(PTE)和规模效率(SE)。因此本文引入Banker等[15]于1984年提出规模报酬可变的BCC模型。该模型在CCR模型的基础上加入 $\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1$ 的约束条件,可计算出纯技术效率和规模效率。PTE反映了决策单元的管理和技术水平;SE反映了决策单元的生产规模情况,即投入与产出结构的匹配程度,其中TE=PTE×SE。通过BCC模型可进一步对决策单元的技术创新效率进行全面分析,其线性规划如下所示:

$$\max\left[\theta-\varepsilon\left(\hat{e}^{\mathrm{T}}S^{-}+e^{\mathrm{T}}S^{+}\right)\right]$$

$$\text{s.t.}\begin{cases}\sum_{j}^{n}X_j\lambda_j+S^{-}=X_0\\ \sum_{j}^{n}Y_j\lambda_j+S^{+}=\theta Y_0\\ \lambda_j\geqslant 0\\ S^{-}\geqslant 0,S^{+}\geqslant 0\\ \sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1\end{cases}$$

式中:$\boldsymbol{X}_j=(X_{1j},\cdots,X_{mj})^{\mathrm{T}}$、$\boldsymbol{Y}_j=(Y_{1j},\cdots,Y_{sj})^{\mathrm{T}}$ 为第 j 个决策单元DM U_j 的投入产出向量;ε 为非阿基米德无穷小量,取 $\varepsilon=10^{-6}$;$\hat{\boldsymbol{e}}^{\mathrm{T}}$ 和 $\boldsymbol{e}^{\mathrm{T}}$ 为单位向量;S^{-} 为投入冗余,S^{+} 为产出不足;X_0 和 Y_0 为松弛变量调整后的投入产出变量。θ 为综合效率,该值越大表明技术创新效率越高:当 $\theta=1$,且 $S^{-}=0$、$S^{+}=0$ 时,决策单元为DEA有效,即同时达到技术和规模有效;当 $\theta=1$,且 S^{-}、S^{+} 中至少一个不为0,决策单元为弱DEA有效;当 $\theta\neq 1$ 时,决策单元为DEA无效。

2.2 数据来源

根据同花顺行业分类,2023年我国CRO上市企业共27家。由于金凯生科的上市时间为2023年8月3日,未公布2022年财报,存在数据缺失予以剔除,最终选取余下26家企业作为研究对象(满足DEA模型要求决策单元的数量需大于等于两倍投入产出指标数量之和[16])。专利指标数据来源于国家知识产权局网站,其余指标数据来自2022年各企业发布的年报。

3 实证分析

本文对26家CRO企业的原始数据进行标准化处理。将标准化处理后的数据带入Dearun3.1软件进行技术创新效率和松弛计算,并整理出结果。表2、表3为26家CRO企业2022年技术创新效率

结果及统计情况,表 4 为 26 家 CRO 企业 2022 年各指标松弛变量结果。

表 2　26 家 CRO 企业 2022 年技术创新效率结果

证券代码	上市企业	TE	PTE	SE	规模报酬
600721	百花医药	1.000	1.000	1.000	CRS
603127	昭衍新药	1.000	1.000	1.000	CRS
603259	药明康德	0.855	1.000	0.855	DRS
603456	九洲药业	0.894	0.900	0.994	IRS
688046	药康生物	0.763	1.000	0.763	IRS
688073	毕得医药	0.883	1.000	0.883	IRS
688076	诺泰生物	0.774	0.974	0.795	IRS
688131	皓元医药	0.946	1.000	0.946	IRS
688202	美迪西	0.727	0.746	0.975	IRS
688222	成都先导	0.741	0.822	0.901	IRS
688238	和元生物	0.813	0.918	0.886	IRS
688265	南模生物	0.700	0.905	0.774	IRS
688293	奥浦迈	0.838	1.000	0.838	IRS
688621	阳光诺和	0.813	0.903	0.900	IRS
002821	凯莱英	0.983	1.000	0.983	DRS
300149	睿智医药	0.756	0.805	0.939	IRS
300347	泰格医药	1.000	1.000	1.000	CRS
300363	博腾股份	0.925	0.956	0.968	DRS
300404	博济医药	0.797	0.894	0.891	IRS
300725	药石科技	0.654	0.697	0.939	IRS
300759	康龙化成	1.000	1.000	1.000	CRS
301096	百诚医药	0.525	0.529	0.993	IRS
301201	诚达药业	0.914	1.000	0.914	IRS
301230	泓博医药	0.829	0.986	0.841	IRS
301257	普蕊斯	0.853	1.000	0.853	IRS
301333	诺思格	0.795	1.000	0.795	IRS

表 3　2022 年 CRO 企业技术创新效率统计情况

效应类型	均值及企业数	2022 年	占比/%
综合效率	平均值	0.838	15.4
	TE=1 企业数	4	
纯技术效率	平均值	0.924	50.0
	PTE=1 企业数	13	
规模效率	平均值	0.909	15.4
	SE=1 企业数	4	
规模收益	不变的企业数	4	15.4
	递增的企业数	19	73.1
	递减的企业数	3	11.5

表 4　26 家 CRO 企业 2022 年各指标松弛变量结果

上市企业	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3
药明康德	0.000	0.000	0.024	0.000	0.117	0.000
九洲药业	0.037	0.000	0.107	0.000	0.093	0.000
药康生物	0.007	0.000	0.006	0.000	0.002	0.000
毕得医药	0.000	0.001	0.000	0.000	0.010	0.000
诺泰生物	0.000	0.000	0.045	0.000	0.013	0.000
皓元医药	0.076	0.000	0.028	0.000	0.017	0.000
美迪西	0.000	0.035	0.000	0.000	0.020	0.000
成都先导	0.009	0.000	0.006	0.000	0.011	0.000
和元生物	0.000	0.000	0.011	0.000	0.005	0.000
南模生物	0.000	0.000	0.003	0.000	0.021	0.000
奥浦迈	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000
阳光诺和	0.012	0.015	0.000	0.000	0.005	0.000
凯莱英	0.167	0.000	0.100	0.024	0.000	0.000
睿智医药	0.000	0.017	0.000	0.000	0.002	0.000
博腾股份	0.143	0.000	0.085	0.000	0.033	0.000
博济医药	0.000	0.000	0.009	0.000	0.012	0.000
药石科技	0.001	0.000	0.040	0.000	0.028	0.000
百诚医药	0.000	0.000	0.002	0.000	0.017	0.000
诚达药业	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000
泓博医药	0.000	0.003	0.000	0.000	0.003	0.000
普蕊斯	0.000	0.083	0.000	0.000	0.011	0.000
诺思格	0.000	0.004	0.000	0.000	0.012	0.000
平均值	0.021	0.007	0.023	0.001	0.020	0.000
企业数	8	7	15	1	19	0
占比/%	36.4	31.8	68.2	4.5	86.4	0.0

3.1　创新效率整体分析

由表 3 可知,26 家 CRO 上市企业的综合效率、纯技术效率、规模效率的平均值分别为 0.838、0.924、0.909,PTE 和 SE 的均值都小于 1,导致综合效率无效。企业一方面可通过提升技术和管理水平,使得纯技术效率达到有效水平;另一方面也可通过改善生产规模,使规模效率达到有效。由于规模效率低于纯技术效率,说明各企业目前亟待解决技术创新投入产出结构的匹配程度问题,改善规模效率,进而提升整体技术创新效率。

由表 2 和表 3 可知,在选取的 26 家 CRO 企业中,百花医药、昭衍新药、泰格医药、康龙化成 4 家企业的综合效率为 1,表明这 4 家企业 DEA 有效,且规模报酬处于不变状态,占总样本的 15.4%,同时也说明其余 22 家非 DEA 有效的 CRO 企业在技术、管理、资源配置等方面存在改进空间;皓元医药、凯莱英、博腾股份、诚达药业是 CRO 行业综合效率值较高的企业,TE 值均大于 0.9;百诚医药的综合效率最低,为 0.525,表明其近一半的技术创新资源投入是无效的。

参照梁娜等[17]对企业技术创新效率评价等级的划分,本文将效率值划分为强(1)、较强[0.8,1)、一般[0.5,0.8)、较弱[0.2,0.5)和弱[0,0.2)5 类。从整体上看,虽然 DEA 有效的企业数量较少,仅有 4 家,占总样本的 15.4%,但 26 家上市企业的综合效率、纯技术效率、规模效率的平均值分别为 0.838、0.924、0.909,均处于 0.8～1 的区间,说明我国 CRO 企业整体技术创新效率较强。

3.2　创新效率内部分析

3.2.1　纯技术效率　由表 2、表 3 可知,药明康德、

药康生物、毕得医药、皓元医药、奥浦迈、凯莱英、诚达药业、普蕊斯、诺思格9家企业的PTE值为1，说明其技术和管理水平使得纯技术效率达到有效，但未能达到DEA有效，主要原因在于规模效率无效，SE值均未达到1，各企业的规模与投入、产出不相匹配，如何更好地发挥规模收益以提升整体技术创新效率成为各企业改革的重点；诺泰生物、博腾股份、鸿博医药3家企业的PTE值在整体平均值之上，纯技术效率表现较好；九州药业、美迪希、成都先导、和元生物、南模生物、阳光诺和、睿智医药、博济医药、药石科技、百诚医药的PTE值低于整体平均值，表明这10家企业的技术和管理水平较差，并且存在较为严重的资源浪费现象。

3.2.2 规模效率 由表2、表3可知，26家CRO企业中，规模报酬不变的企业有4家，SE值为1，占总样本的15.4%，分别为百花医药、昭衍新药、泰格医药、康龙化成，说明这4家企业的规模效率已经达到最优状态；规模收益递增的企业有19家，占总样本的73.1%，其中，九州药业、皓元医药、美迪希、睿智医药、药石科技、百诚医药、诚达药业7家企业的SE值高于整体平均值，药康生物、毕得医药、诺泰生物、成都先导、和元生物、南模生物、奥浦迈、阳光诺和、博济医药、鸿博医药、普蕊斯、诺思格12家企业的SE值低于平均值，整体来看这19家企业均未达到规模效率有效，适当增加技术创新资源投入比例可进一步提升技术创新效率；规模收益递减的企业有3家，占总样本的11.5%，分别为药明康德、凯莱英、博腾股份，其中凯莱英和博腾股份的SE值高于整体平均值，药明康德的SE值低于整体平均值，3家企业可通过减少技术创新资源投入比例进一步提升技术创新效率。

3.2.3 投影分析 样本企业中，除去4家DEA有效的企业后，对余下22家非DEA有效企业进行投影分析，可进一步厘清其投入冗余和产出不足的具体情况。由表4可知，从投入角度来看，研发经费、研发人员、固定资产的平均冗余值分别为0.021、0.007、0.023，冗余值均不高。其中8家企业出现了研发经费冗余，7家企业出现了研发人员冗余，15家企业出现了固定资产冗余，分别占非DEA有效企业的36.4%、31.8%、68.2%。由此可见，大部分非DEA有效企业存在的问题主要是在固定资产方面，企业可通过缩减固定资产投入来提升自身技术创新效率。从产出角度来看，营业收入和净利润的平均不足值分别为0.001、0.020，不存在专利申请数不足。其中，仅1家企业出现产品销售收入不足，出现净利润不足的企业有19家，分别占非DEA有效企业的4.5%、86.4%。由此可见，产出不足问题主要集中于净利润方面，企业可通过增加净利润进一步提升自身技术创新效率。

4 结论与建议

4.1 结论

1)从整体技术创新效率来看，26家企业的综合效率、纯技术效率、综合效率的平均值分别为0.838、0.924、0.909，均介于0.8～1之间，表明我国CRO行业整体技术创新效率较强。其中纯技术效率值低于规模效率值，说明各企业目前亟待解决技术创新投入产出结构的匹配程度，改善规模效率，进而提升整体技术创新效率。

2)从综合效率的分解情况来看，26家企业中有13家纯技术效率为1.50%的企业达到了纯技术效率有效；4家企业的规模效率为1，即仅15.4%的企业达到规模有效；规模收益递减、不变、递增的企业数分别为3、4、19家，分别占样本企业的11.5%、15.4%、73.1%。由此可以看出，一半的企业达到了纯技术效率有效，大多数企业规模效率无效且规模收益递增，因此，如何更好地发挥规模收益以提升整体技术创新效率成为各企业改革的重点。

3)从投影分析来看，22家非DEA有效的企业中，研发经费、研发人员、固定资产的平均冗余值分别为0.021、0.007、0.023，出现投入冗余的企业数量分别占非DEA有效企业的36.4%、31.8%、68.2%；产品销售收入和净利润的平均不足值分别为0.001、0.020，不存在专利申请数不足，出现销售收入不足和净利润不足的企业数量分别占非DEA有效企业的4.5%、86.4%。表明非DEA有效企业存在的主要问题在于固定资产投入冗余和净利润产出不足，企业可通过缩减固定资产投入或增加净利润产出以进一步提升其技术创新效率。

4.2 建议

1)在国家层面，加强顶层设计，推进核心技术攻关。一是通过完善医保制度、减少药品入院审批流程、提升医务人员工资水平等方式促进医保、医疗、医药三方协同发展；二是加大对CRO企业的支持力度，通过财政支持与政策支持等方式，助力企业开展技术创新活动，共同推进医疗器械、创新药等核心技术攻关。

2)在行业层面，完善人才培养体系，加快人才储备。一是通过支持高校和科研机构加强生物医药学科建设，对符合条件的高校、医疗机构给予资金资助；二是精准实施各类人才计划，大力吸引和聚集生物医药领域高端人才，为开展技术创新活动提供必

要条件。

3）在企业层面，优化资源配置，调整收入结构。一是根据自身情况优化投入资源分配以进一步提升技术创新效率；二是加快收入结构调整，布局高科技含量、高门槛的药物。我国药企的主要收入仍以仿制药为主，难以在高端领域获取市场份额和利润，企业应当调整布局，加大对创新药、原研药的开发。

[参 考 文 献]

[1] 陈旭.基于 ARMA-FCFF 模型 CRO 企业泰格医药的价值评估[D].北京：北京交通大学，2022.

[2] FARRELL M J. The measurement of productive efficiency[J]. Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society, 1957, 120(03): 253-281.

[3] LEIBENSTEIN H. What can we expect from a theory of development [J]. Kyklos, 1966, 19(01): 1-22.

[4] AFRIAT S N. Efficiency estimation of production functions[J]. International Economic Review, 1972, 13(03): 568-598.

[5] 赖红波，施浩.技术体制与医药制造业创新效率研究[J].科研管理，2021，42(11)：16-24.

[6] 李缘，孟光兴.政府激励政策视域下的医药制造业技术创新效率两阶段 DEA 评价[J].中国医药工业杂志，2022，53(06)：912-918.

[7] 周世新，于淑秀，王玉卓.中国医药制造业技术研发与成果转化阶段创新效率评价及建议[J].江西社会科学，2022，42(01)：145-153.

[8] 熊阿珍，孟光兴.基于 DEA 方法的制药企业技术创新效率研究：以深沪前 15 位上市公司为例[J].中国新药杂志，2019，28(14)：1675-1680.

[9] 尹述颖，陈立泰.基于两阶段 SFA 模型的中国医药企业技术创新效率研究[J].软科学，2016，30(05)：54-58.

[10] 罗利华，胡先杰，冯君.企业创新效率评价指标体系实证比较研究[J].科研管理，2018，39(02)：60-65.

[11] 贺正楚，潘为华，潘红玉.制造企业创新效率测度与影响因素研究：基于数字化转型的视角[J].科学决策，2023(02)：18-29.

[12] 孟韬，徐广林.基于三阶段 DEA 的独角兽上市企业创新效率评价[J].运筹与管理，2021，30(10)：206-212.

[13] 田春晓，陈聪.高新技术产业中信息技术企业创新效率评价研究[J].科技促进发展，2019，15(02)：184-191.

[14] CHARNES A，COOPER W W，RHODES E.Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research，1978，2(06)：429-444.

[15] 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(09): 1078-1092.

[16] GOLANY B, ROLL Y. An application procedure for DEA [J]. Omega, 1989, 17(03): 237-250.

[17] 梁娜，姚长青，高影繁.基于 DEA 方法的环保行业上市企业创新效率评价[J].科技管理研究，2019，39(05)：45-50.

Evaluation of Technological Innovation Efficiency of Chinese CRO Enterprises

ZHANG Yi[1,2,3], JIAO Feifei[1]

(1 *School of Economics and Management, Hubei Univ. of Tech, Wuhan* 430068, *China*;
2 *Hubei Digital Industrial Economy Development Research Center, Wuhan* 430068, *China*;
3 *Hubei Industrial Research Institute, Wuhan* 430068, *China*)

Abstract: The improvement of technological innovation efficiency of CRO enterprises plays a leading and promoting role in the development of the entire pharmaceutical industry. In order to explore the change of technological innovation efficiency of Chinese CRO enterprises, the input-output data of 26 listed CRO enterprises in China in 2022 were selected through the construction of technological innovation efficiency evaluation index system, and their technological innovation efficiency was comprehensively analyzed based on DEA model. The results show that there are 4 Chinese pharmaceutical R&D outsourcing enterprises with DEA effectiveness, accounting for only 15.4%, but the average values of comprehensive efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency of 26 listed enterprises are 0.838, 0.924 and 0.909, respectively, indicating a strong overall technological innovation efficiency. 73.1% of enterprises have increased returns to scale; The main reasons leading to non-DEA efficiency of listed enterprises are redundancy of fixed assets and insufficiency of net profit output. Finally, based on the research conclusions, the author puts forward relevant countermeasures and suggestions.

Keywords: CRO; listed enterprises; technological innovation; efficiency; DEA model

[责任编校：张　众]