河北省规模以上工业企业 R&D 绩效动态评价

——基于 CRITIC-VIKOR-障碍度模型的实证分析

扶焰莉[1,2]，高春艳[1,2]，裴洪盈[1,2]

（1. 河北地质大学城市地质与工程学院，石家庄 052160；
2. 河北省地下人工环境智慧开发与管控技术创新中心，石家庄 052160）

摘要：基于 CRITIC（基于指标间相关性的权重确定法）-VIKOR（多准则妥协优化排序法）-障碍度模型，对 2010—2024 年河北省规上企业创新绩效进行多维度动态评价。结果表明，河北省规上企业创新绩效 2017 年达到峰值后持续下滑，2024 年已接近历史最低水平。当前绩效恶化的核心症结高度集中于“技术获取与技术改造”维度，特别是技术改造经费和引进境外技术经费两项投入低效，二者在 2024 年合计贡献近 70%的障碍度。与此同时，新产品销售收入的障碍度持续上升，市场转化环节出现堵塞。而传统的 R&D 投入、机构建设、新产品开发等维度已全面优化，不再是制约因素。据此，建议政策重心从“扩大投入规模”转向“提升投入质量”，精准整治技术改造和境外技术引进的低效项目，疏通新产品市场转化渠道，并建立基于障碍度与 VIKOR 的 R 值动态预警机制。研究结果可为河北省及同类地区规上企业创新效率诊断提供可量化的决策依据。

关键词：规模以上工业企业；R&D 绩效；CRITIC（基于指标间相关性的权重确定法）-VIKOR（多准则妥协优化排序法）-障碍度模型

中图分类号：F424 **文献标志码**：A **文章编号**：1671－1807(2026)17－0218－08

规模以上工业企业作为提升研发能力的关键着力点，其既是区域创新体系的核心主体，也是产业转型升级与高质量发展的重要支撑。河北省作为传统工业大省，钢铁、装备制造、石化等产业占比较高，近年来面临环保约束、产能压减与创新驱动等多重压力。因此，客观评价河北省规上企业 R&D 效率的动态演变、精准识别制约因素对于优化科技资源配置、提升创新政策效能具有重要意义。

1 文献综述

围绕规模以上工业企业的创新效率与绩效，学术界已形成较为丰富的研究积累。现有研究主要可归纳为以下两个方面。

（1）基于数据包络分析（DEA）模型的效率测度研究。该类研究以 DEA 及其扩展模型为主，聚焦于不同区域规上企业的创新效率评价。高萍和王小红[1]运用 DEA 模型测度了各省份规上企业的绿色技术创新效率；王义新和孔锐[2]进一步采用 DEA-Tobit 模型，对 36 个工业细分行业的科技创新效率进行测度并分析其影响因素。陈媛等[3]采用 DEA 方法测度了山东省规上企业的研发投入产出绩效；郭宇蒙[4]运用 DEA 交叉效率模型，评价了中国省级规上企业的科技创新效率；徐爱娟和李建伟[5]利用 DEA-CCR（Charnes-Cooper-Rhodes）模型分析了西部 12 省份规上企业的研发投入绩效。此类研究为区域和行业层面的效率比较提供了基础，但多限于静态效率测度，难以揭示效率演变的动态特征及内在短板。

（2）基于多指标综合评价与仿真的研究。为弥补单一效率测度的不足，部分学者引入了多指标综合评价与系统仿真方法。黄信毅和刘文昌[6]以 TOE（技术-组织-环境）理论框架为基础，建立了规上企业创新绩效的系统动力学模型并进行仿真分

收稿日期：2026-05-08

基金项目：河北地质大学第二十二届学生科研项目（KAG202611，KAY202614）；河北地质大学区域制度研究中心经费资助项目（QYZDYJZX202611）

作者简介：扶焰莉（1990—），女，河南信阳人，硕士研究生，研究方向为工程管理；通信作者高春艳（1979—），女，山东成武人，博士，副教授，研究方向为工程管理；裴洪盈（2005—），女，辽宁朝阳人，研究方向为工程管理。

析;刘颖莹等[7]采用 SWOT(优势-劣势-机会-威胁)分析法评估了山东省规上企业的自主创新现状;余佳雪和韩明华[8]构建了熵权 CRITIC-EDAS(基于平均解的距离评估法)模型,评估了浙江省规上企业的绿色创新能力并开展预测;孔慧珍和罗凤娇[9]运用熵权 TOPSIS(逼近理想解排序)法、耦合协调度模型、核密度估计法和障碍度模型,考察了河北省科技创新平台与制造业高质量发展的耦合协调特征。这类研究丰富了评价维度,但多集中于截面或短周期分析,且较少将"赋权-评价-诊断"三者系统集成。

综上,针对规模以上工业企业创新效率的研究已取得丰硕成果,但仍存在可拓展之处。多数研究侧重于效率测度或单一影响因素分析,缺乏对长周期动态绩效的系统评价,尽管一些研究引入障碍度模型,但未与客观赋权和多准则妥协排序有机结合,难以同时兼顾群体效益与个体遗憾度。现针对河北省这一传统工业大省的规上企业 R&D 效率进行动态诊断研究,构建 CRITIC-VIKOR-障碍度模型集成框架。首先采用 CRITIC(criteria importance through intercriteria correlation,基于指标间相关性的权重确定)法基于数据波动性与相关性客观赋权;其次运用 VIKOR(visekriterijumska optimizacija i kompromisno resenje,多准则妥协优化排序)法测算 2010—2024 年河北省规上企业创新绩效的 Q 值及排名,动态刻画效率演变轨迹。借助障碍度模型精准识别各时期的关键短板因子,以期为河北省优化创新资源配置、提升 R&D 效率提供科学依据。

2 研究方法与数据

2.1 评价指标体系构建

针对河北省规模以上工业企业(规上企业)的 R&D 绩效评价,参考文献[10-13]从投入-产出到成果转化的角度构建指标体系,同时根据河北省规上企业创新活动的现实特征新增 R&D 机构情况及企业创新活动构成"资源投入→组织支撑→过程开发→直接产出→外部获取与改进"的闭环系统。本体系将 13 个二级指标归入 5 个一级维度,针对河北传统产业占比高、自主创新能力尚在提升阶段的现状,特别强化了技术改造与技术引进维度,以反映企业通过内外结合实现技术追赶的路径,从而建立指标体系(表 1)。

表 1 中反映组织能力建设、创新活动规模、创新产出水平的指标,均视为正向指标,因为这些指标数值的增长通常意味着创新能力的提升。具体包括 R&D 活动企业数、机构数、机构人员数、新产品开发项目数、新产品销售收入、有效发明专利数。而对于反映成本或负向约束的指标如 R&D 人员全时当量、R&D 经费支出、机构经费支出、新产品开发经费支出、各类技术获取与改造经费支出视为负向指标,虽然在创新评价中,更高的投入通常意味着更强的创新意愿和能力,但也需考虑"投入冗余"问题,即本文的主题 R&D 绩效问题。该指标体系的选取主要基于以下原因。

表 1 河北省规模以上工业企业 R&D 绩效评价指标体系

目标层	一级指标	二级指标	单位	指标类型
规上企业 R&D 绩效评价指标体系	R&D 投入	有 R&D 活动企业数	个	正向
		R&D 人员全时当量	人年	负向
		R&D 经费支出	万元	负向
	企业办 R&D 机构情况	机构数	个	正向
		机构人员数	人	正向
		机构经费支出	万元	负向
	新产品开发投入	新产品开发项目数	个	正向
		新产品开发经费支出	万元	负向
	创新收入	新产品销售收入	万元	正向
		有效发明专利数	项	正向
	技术获取与技术改造	引进境外技术经费支出	万元	负向
		购买境内技术经费支出	万元	负向
		技术改造经费支出	万元	负向

(1)R&D 投入:创新活动的资源基础。R&D 投入是任何创新活动的起点,直接决定企业持续创新的潜力。本维度选取 3 个核心指标。①R&D 活动企业数:反映河北省规上企业中开展实质性研发活动的广度。一个地区有 R&D 活动的企业数量越多,说明创新参与度越高,能避免仅由少数大企业拉动而掩盖整体薄弱的问题。②R&D 人员全时当量:衡量研发人力资本的"实际投入强度",折合全时人员数可消除兼职、非全职带来的统计偏差,精准反映研发人力的真实规模。③R&D 经费支出:最直观的研发资金投入指标,体现企业对创新的重视程度与财力支持力度。

(2)企业办 R&D 机构情况:组织化研发的承载能力。相比零散的项目式研发,常设机构更能保证创新的持续性和系统性。本维度包括以下 3 个层面。①机构数:反映企业设立研发机构的总体规模,说明企业研发组织的普及程度。②机构人员数:体现机构的人才密集度与运行规模。③机构经费支出:反映机构是否获得稳定的资源保障,避免"挂牌机构"无实质运作。仅有机构数量不足以说明问题,必须同时考察人员配备与经费支持,才能真实评价企业办研发机构的运行质量。

(3)新产品开发投入:创新过程的核心活动。新产品开发是 R&D 活动连接研发与市场的桥梁,

本维度选取两个层面。①新产品开发项目数：直接反映企业主动开展产品创新的项目活跃度。项目越多，说明企业创新意愿和行动力越强。②新产品开发经费支出：衡量为支撑上述项目而投入的专项经费。相较于R&D经费，该指标更聚焦于产品化阶段的支出。

(4) 创新产出：创新的直接经济与知识产出。创新产出包括经济收益与知识资产两类，本维度兼顾二者。①新产品销售收入：直接反映创新的最终经济价值。若研发投入高但新产品销售收入低，说明创新效率或市场匹配存在问题。②有效发明专利数：代表企业拥有的高质量自主知识产权。“有效”状态过滤掉已失效的专利，更真实反映当前技术储备。

(5)技术获取与改造：外部技术吸收与存量能力提升。对于河北省规上企业而言，除自主R&D外，从外部获取技术并加以消化、改造是提升技术水平的重要路径。本维度为反映这一“内外结合”特征而设，包含3个层面。①引进境外技术经费支出：衡量企业利用国际技术资源的能力。②购买境内技术经费支出：反映企业与国内高校、科研院所或其他企业的技术交易活跃度，是技术市场成熟度的体现。③技术改造经费支出：针对现有生产线、工艺进行升级的投入。技术改造不直接增加R&D统计，却能显著提升生产效率和产品质量，尤其适合评价传统产业占比高的河北省企业。这3个指标共同揭示了非自主R&D渠道的技术进步，避免了仅以自主R&D投入评价企业创新。

2.2 CRITIC法确定权重

在开展多指标综合评价时，科学确定指标权重是核心环节之一。为避免主观赋权可能带来的偏差采用CRITIC法[14]。该方法基于数据自身的客观属性，通过两个维度衡量指标的重要性：①对比强度，以标准差反映同一指标内样本取值的波动程度，标准差越大说明指标区分度越高；②冲突性，以指标间的相关系数衡量信息重叠程度，相关性越低说明指标提供的独立信息越多。将二者相乘得到综合信息量，归一化后即得客观权重。采用CRITIC法对构建的指标体系进行赋权，以确保后续评价与诊断结果的客观性。

(1)数据准备。收集并整理待分析的指标数据，构建数据矩阵 x_{ij} ，其中每1行表示1个研究对象，列表示各个指标。

(2) 标准化数据。对数据矩阵进行标准化处理，以消除量纲的影响。常用标准化处理方法为

$$x'_{ij}=\frac{x_{ij}-\min x_j}{\max x_j-\min x_j} \tag{1}$$

式中：x_{ij} 为原始数据；x'_{ij} 为标准化后的数据；$\max x_j$、$\min x_j$ 分别为第 j 项指标的最大值和最小值。

(3)计算变异性指标。计算每个指标的标准差 σ_j。

$$\sigma_j=\sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(x'_{ij}-\bar{x}'_j)^2} \tag{2}$$

式中：m 为研究对象的数量；$\bar{x}'_j$ 为第 j 个指标的均值。

(4)计算冲突化指标。计算各指标之间的相关性矩阵。相关性使用Pearson相关系数 r_{jk}：

$$r_{jk}=\frac{\sum_{i=1}^{m}(x'_{ij}-\bar{x}'_j)(x'_{ik}-\bar{x}'_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(x'_{ij}-\bar{x}'_j)^2\sum_{i=1}^{m}(x'_{ik}-\bar{x}'_k)^2}} \tag{3}$$

(5)计算冲突化指标 R_j，其公式为

$$R_j=\sum_{k=1}^{m}(1-|r_{kj}|) \tag{4}$$

(6)计算信息量 c_j。根据标准差和相关性计算信息量。其公式为

$$c_j=\sigma_j\sum_{k=1}^{m}(1-|r_{kj}|) \tag{5}$$

式中：c_j 为第 j 个指标的权重。

(7)计算权重 w_j。

$$w_j=\frac{c_j}{\sum_{j=1}^{n}c_j} \tag{6}$$

2.3 VIKOR法综合绩效评价

在多指标综合评价中，除了确定指标权重，还需对评价对象的综合绩效进行排序与比较。VIKOR法由Opricovic[15]于2007年正式提出，其核心思想是寻求一个“最接近理想解”的折中方案，同时兼顾群体效益与个体遗憾度两个维度。群体效益以各指标加权距离之和(S值)衡量评价对象的整体表现，个体遗憾度以加权距离的最大值(R值)反映评价对象在某一指标上的最差表现，最终通过折中系数计算综合利益比率 Q 值，实现方案的排序。VIKOR法对指标间的冲突性和极端短板更为敏感，特别适用于存在相互制约关系的复杂评价问题。因此采用VIKOR法对各年度河北省规上企业创新绩效进行动态排序，以揭示其演变规律及关键转折点。

(1)确定数据矩阵。构建数据矩阵 $\boldsymbol{X}=$

$(x_{ij})_{n\times m}$,其中 x_{ij} 为第 i 个方案在第 j 个指标上的值,$i=1,2,\cdots,n$;$j=1,2,\cdots,m$。

(2)确定正负理想解。计算每个指标的正理想解 r_j^+ 和负理想解 r_j^-

针对放入的正向指标时:

$$r_j^+ = \max x_{ij},\ r_j^- = \min x_{ij} \tag{7}$$

针对放入的负向指标时:

$$r_j^+ = \min x_{ij},\ r_j^- = \max x_{ij} \tag{8}$$

(3)计算最优方案距离。对每个方案 i,计算其与最优方案距离 s_{ij}:

$$s_{ij} = w_j\left(\frac{r_j^+ - x_{ij}}{r_j^+ - r_j^-}\right) \tag{9}$$

(4)计算最优方案距离之和 S_i,最优方案距离最大值 R_i。

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} s_{ij} \tag{10}$$

$$R_i = \max_{1\leqslant j\leqslant m} s_{ij} \tag{11}$$

(5)计算 VIKOR 指数 Q_i。

$$Q_i = v\frac{S_i - S^+}{S - S^+} + (1-v)\frac{R_i - R^+}{R - R^+} \tag{12}$$

式中:$S^+ = \min S_i$,表示所有评价方案中 S 值的最小值;$R^+ = \min R_i$,表示所有评价方案中 R 值的最小值;v 为决策者的策略权重,通常取 $v=0.5$。

(6)对方案进行排序。根据 VIKOR 指数 Q_i,对所有方案进行排序。Q 值越小的方案越优。通过以上步骤,VIKOR 方法能够为多属性决策问题提供一个有效的折中解决方案。

VIKOR 法求得的 Q 值反映的是评价对象在理想解意义下的综合绩效排序,与 DEA 等效率前沿方法存在本质区别。DEA 关注决策单元是否位于效率前沿面上,而 VIKOR 关注各评价对象在多个冲突指标下的折中表现。若某年度投入与产出同步增长,但产出增长未达到理想水平,VIKOR 的 Q 值会因偏离理想解而升高,从而识别出“高投入、高产出但绩效相对下降”的情形,这在一定程度上可以反映投入产出效率的恶化趋势。正是利用这一特性,结合障碍度模型,捕捉传统效率测度难以直接反映的“维度短板”问题。

2.4 障碍度模型

在完成指标赋权和综合绩效评价之后,还需进一步识别制约绩效提升的关键短板,以便为政策优化提供精准靶向。障碍度模型(obstacle degree model)[16]正是实现这一目标的常用工具。该方法通过计算各指标实际值与理想值之间的偏离程度,并结合指标权重,量化每个指标对系统总体目标的负面贡献率,从而明确各指标的障碍度(U)。障碍度越高说明该指标偏离理想状态越严重,对整体绩效的制约作用越强。障碍度模型能够动态反映各时期评价对象内部的结构性短板,揭示绩效变动的内在驱动因素。因此引入障碍度模型,对河北省规上企业创新绩效的各维度及具体指标进行逐层诊断,以精准定位不同阶段的障碍因子,为制定针对性改进策略提供依据。

(1)极值化处理。首先计算每个指标的极值化值 X',其计算公式为

$$X' = \frac{X - \min x}{\max x - \min x} \tag{13}$$

式中:X 为某个指标的实际值;$\min x$ 为该指标的最小值;$\max x$ 为该指标的最大值

(2)计算偏离度 I。

$$I = 1 - X' \tag{14}$$

式中:I 为该指标的偏离度,即实际值与理想值之间的差距。

(3)计算因子贡献度 F。

$$F_{ij} = W_i W_{ij} \tag{15}$$

式中:F_{ij} 为第 i 个准则层时,第 j 个指标的因子贡献度;W_i 为第 i 个准则层的权重;W_{ij} 为第 i 个准则层时,第 j 个指标的权重。

(4)计算指标障碍度 O。

$$O_{ij} = \frac{I_{ij}F_{ij}}{\sum_{i=1}^{N}(I_{ij}F_{ij})} \times 100\% \tag{16}$$

式中:O_{ij} 为第 i 个准则层时,第 j 个指标的 O 值;N 为全部准则层指标总数。

(5)计算准则层障碍度 U。

$$U_i = \sum_{i=1}^{n_i} O_{ij} \tag{17}$$

式中:U_i 为第 i 个准则层时的 U 值;n_i 为第 i 个准则层时指标个数。

3 实证结果分析

3.1 基于 CRITIC 法的指标权重分析

初始数据来源于 2010—2014 年《中国科技统计年鉴》以及《河北省统计年鉴》规上工业企业科技创新指标连续 15 年的数据,综合考虑数据的完整性以及指标的重要性与波动性,同时结合科技创新的过程维度和结构维度进行数据筛选,以确保所选取的指标能够全面且准确地反映企业科技创新的动态变化。利用采集数据运用式(1)~式(6)计算各指标的权重,见表 2。

表 2　指标权重测算结果

一级指标	权重	二级指标	单位	权重
R&D 投入	0.250	有 R&D 活动企业数	个	0.069
		R&D 人员全时当量	人年	0.086
		R&D 经费支出	万元	0.095
企业办 R&D 机构情况	0.225	机构数	个	0.069
		机构人员数	人	0.059
		机构经费支出	万元	0.098
新产品开发投入	0.176	新产品开发项目数	个	0.071
		新产品开发经费支出	万元	0.105
创新收入	0.127	新产品销售收入	万元	0.056
		有效发明专利数	项	0.071
技术获取与技术改造	0.222	引进境外技术经费支出	万元	0.066
		购买境内技术经费支出	万元	0.090
		技术改造经费支出	万元	0.067

权重前 5 名中有 4 个是经费支出指标，这表明在河北省规上企业中，资金投入比人员、项目数量等更能区分企业创新水平。尤其是“新产品开发经费支出”以 0.105 高居榜首，说明企业在新产品开发阶段的专项投入在不同企业间差异较大且信息独特，是评价创新绩效最重要的单项指标。购买境内技术经费权重大于引进境外技术，也反映出河北企业更依赖国内技术溢出，符合当前国际技术转移受限、国内自主创新增强的大背景。基于 CRITIC 法计算得出的权重表明，R&D 投入、企业办 R&D 机构情况和技术获取与技术改造是影响河北省规上企业 R&D 效率的 3 大核心维度。在二级指标中，新产品开发经费支出、机构经费支出、R&D 经费支出和购买境内技术经费支出具有较高的信息量，是区分企业创新绩效的关键指标。客观反映了河北省规上企业“以资金投入为主导、以机构建设为载体、以国内技术获取为重要补充”的创新活动特征，也为后续障碍度诊断和效率评价提供了合理的权重基础。

3.2　基于 VIKOR 法的综合绩效动态评价

根据上述数据运用式(7)～式(12)计算各年度的效率，结果见表 3。

VIKOR 法的计算结果显示，河北省规上企业创新绩效呈倒“V”型演变，2017 年为最佳年份(Q=0.083 7)，2024 年河北省规上企业的 R&D 经费支出、机构经费支出等绝对值指标仍处于历史高位，但 VIKOR 的 Q 值却跌至谷底(0.727 2)。这一结果揭示，在技术改造经费和引进境外技术经费大幅增长但未能带来相应新产品销售收入提升的背景下，该年度创新系统在“技术获取与改造”维度上偏离历史最佳水平(即理想解负向距离最大)，导致综合绩效排序靠后。这正是 VIKOR 方法与传统效率测度的关键差异所在。它不单纯比较投入产出比值，而是通过多维度理想解偏离度，识别出“高投入、低转化”的失衡。2024 年恰恰是“高投入、低效率转化”的典型。2024 年的 R 值(0.104 8)是 15 年来最高的，甚至超过了 2011 年(0.089 7)。这意味着尽管 2024 年的 S 值(0.514 7)并非最高，但某个或某些维度的表现极差(可能是技术改造、新产品开发等)，导致个体遗憾度很大，最终 Q 值很高。换言之，近年来创新绩效下滑的主要原因不是全面衰退，而是出现了突出的短板。

表 3　评价结果及排序

年份	最优方案距离比值之和 S（越小越好）	最优方案距离比值的最大值 R（越小越好）	利益比率 Q 值（越小越好）	方案（Q 值）排名
2010	0.527 4	0.070 9	0.437 3	10
2011	0.598 6	0.089 7	0.851 8	15
2012	0.516 5	0.068 3	0.376 3	9
2013	0.488 2	0.067 3	0.274 3	7
2014	0.504 2	0.065 9	0.312 9	8
2015	0.478 1	0.066 3	0.231 7	5
2016	0.444 7	0.064 7	0.107 7	2
2017	0.446 6	0.061 6	0.083 7	1
2018	0.503 7	0.061 9	0.272 1	6
2019	0.496 6	0.053 7	0.168 6	4
2020	0.470 8	0.057 1	0.118 6	3
2021	0.524 6	0.085 5	0.570 3	11
2022	0.504 1	0.094 5	0.592 4	13
2023	0.484 3	0.099 8	0.579 8	12
2024	0.514 7	0.104 8	0.727 2	14

从计算结果看出其变化趋势呈阶段化特征(表 4)，其中第 1 阶段(2010—2017 年)属于持续改善期。期间 S 值和 R 值逐年下降，Q 值持续优化。表明这一时期 R&D 投入、机构建设、新产品开发等维度协同改善无极端短板。第 2 阶段(2018—2020 年)属于高位震荡期。期间 Q 值在 0.12～0.27 波动，排名第 3～6 位，仍属优良，R 值保持在低位，没有出现极端短板，但 S 值略有回升，整体绩效

表 4　评价结果阶段

阶段	年份	Q 值变化	排名变化	特征
上升期	2010—2017	0.437 3→0.083 7	10 → 1	持续改善，2017 年达到历史最佳
高位维持期	2018—2020	0.272 1→0.118 6	6 → 3	仍处于较优水平，略有波动
急剧恶化期	2021—2024	0.570 3→0.727 2	11 → 14	断崖式下滑，2024 年接近历史最差

小幅波动。第3阶段(2021—2024年)属于急剧恶化期,Q值从0.12飙升至0.73,排名从第3跌至第14。R值急剧上升,而S值反而有所下降。表明当前绩效恶化的主要驱动因素不是整体投入不足,而是个体遗憾度(R值)的急剧上升,从2020年的0.057 1飙升至2024年的0.104 8,创历史新高。

3.3 基于障碍度模型的短板诊断

3.3.1 一级指标障碍度演变

根据上述数据结合CRITIC法计算出的权重数据并利用式(13)~式(17)计算出各一级指标障碍度值,见表5。从表中可看出,技术获取与改造的障碍度从2011年的3.73%持续攀升,2020年突破30%,2022年跃升至47.22%,2024年达到78.38%,成为压倒性主导障碍。同期,R&D投入障碍度从36.76%降至8.68%,企业办R&D机构从30.86%降至0%,新产品开发投入从18.63%降至0%,表明这些传统短板已全面优化。创新收入障碍度始终较低,但2024年升至12.94%,呈上升趋势。

表5 2010—2024年河北省规上企业科技创新效率指标层障碍因子障碍度(Q值)

年份	Q/%				
	R&D投入	企业办R&D机构情况	新产品开发投入	创新收入	技术获取与技术改造
2010	34.71	28.16	17.11	8.96	11.06
2011	36.76	30.86	18.63	10.03	3.73
2012	32.16	27.45	16.56	9.10	14.73
2013	29.60	25.87	16.12	8.87	19.53
2014	28.53	26.36	16.39	9.19	19.53
2015	26.44	25.81	16.20	8.81	22.74
2016	24.67	25.32	15.83	8.18	26.00
2017	27.15	29.19	17.07	4.67	21.91
2018	27.19	28.05	14.92	8.12	21.72
2019	26.09	25.15	14.15	8.66	25.95
2020	22.61	24.33	13.17	8.39	31.51
2021	22.75	29.30	11.03	9.04	27.88
2022	14.41	18.52	8.01	11.85	47.22
2023	11.47	12.82	4.16	9.92	61.63
2024	8.68	0.00	0.00	12.94	78.38

3.3.2 二级指标障碍度精确定位

利用上述方法计算出二级指标的障碍度,见表6。CRITIC权重最高的4个二级指标在2024年的障碍度分别为0%、0%、0%、9.03%,表现优异或正常。而权重较低的技术改造经费(0.067)和引进境外技术经费(0.066)却成为最大障碍。这揭示静态权重反映历史平均信息量,无法预测动态效率崩溃,障碍度模型对于识别实时短板具有不可替代的作用。

障碍度模型结果显示,河北省规上企业创新绩效恶化的根源已锁定:技术改造经费和引进境外技术经费两项投入的低效。在2024年其合计贡献了69.35%的障碍度,而其他所有指标均已优化至最佳或正常水平。其次新产品销售收入U值持续上升,表明市场转化环节出现堵塞,与新产品开发经费的充足形成反差。传统的R&D投入、机构建设、新产品开发等环节已不再是制约因素,当前的核心矛盾是“外部技术获取与内部改造的系统性失效”。2010—2024年河北省规上企业创新绩效的制约因素经历了从“R&D投入主导”到“技术获取与改造主导”的根本性转变。当前创新效率低下的核心症结不在于投入不足,而在于技术获取与改造环节的投入产出效率低下。政策亟须从“增量扩面”转向“提质增效”,重点整治低效的技术改造和境外技术引进项目。

3.4 绩效恶化的现实背景与外部因素分析

上述障碍度模型显示,2021年以来河北省规上

表6 2010—2024年河北省规上企业科技创新绩效准则层障碍因子障碍度(U值)

指标	U/%														
	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
有R&D活动企业数	9.65	10.69	9.59	9.26	9.15	8.34	7.57	7.42	8.15	7.35	5.41	3.56	0.00	6.46	8.68
R&D人员全时当量	11.89	12.10	10.55	9.21	8.29	7.64	7.15	9.08	9.94	10.01	9.05	12.11	7.87	2.09	0.00
R&D经费支出	13.17	13.97	12.02	11.13	11.09	10.45	9.95	10.65	9.10	8.73	8.15	7.08	6.54	2.92	0.00
机构数	8.57	9.41	8.55	8.30	8.48	8.19	7.98	9.29	9.16	8.44	8.42	9.96	6.17	3.74	0.00
机构人员数	7.37	7.70	6.53	5.77	5.79	5.64	5.43	6.22	6.81	5.77	5.56	7.84	4.60	3.38	0.00
机构经费支出	12.22	13.75	12.37	11.80	12.10	11.98	11.91	13.68	12.07	10.95	10.35	11.50	7.74	5.69	0.00
新产品开发项目数	6.89	7.58	6.77	6.74	6.94	6.99	6.82	7.68	6.87	6.99	6.37	6.04	5.37	2.87	0.00
新产品开发经费支出	10.22	11.05	9.79	9.38	9.45	9.22	9.00	9.39	8.05	7.15	6.80	4.99	2.63	1.29	0.00
新产品销售收入	3.96	4.45	4.05	3.96	4.12	4.08	4.04	0.00	4.29	4.69	5.05	5.97	8.55	8.22	12.94
有效发明专利数	5.00	5.57	5.05	4.92	5.06	4.73	4.14	4.67	3.84	3.96	3.34	3.07	3.30	1.70	0.00
引进境外技术经费支出	0.00	3.73	2.58	6.23	6.28	6.24	7.65	3.59	7.31	9.17	10.93	15.00	20.01	20.99	34.09
购买境内技术经费支出	9.71	0.00	10.66	10.41	10.52	11.45	11.97	12.59	8.11	8.79	9.34	0.95	7.84	18.78	9.03
技术改造经费支出	1.34	0.00	1.48	2.89	2.74	5.05	6.38	5.74	6.30	7.99	11.25	11.93	19.36	21.85	35.26

企业创新绩效下滑的核心症结集中于“技术改造经费支出”和“引进境外技术经费支出”的低效。这一现象或与近年来国内外宏观环境剧变、河北省产业结构特征深度耦合相关，或与以下几个方面密切相关。

(1)中美技术摩擦与境外技术引进受限。近年来中美贸易摩擦持续升级，美国对华技术出口管制不断加码，尤其在高端装备、半导体、工业软件等领域实施严格限制。河北省钢铁、装备制造等传统产业关键设备、核心工艺的引进渠道受阻，导致“引进境外技术经费支出”的边际收益急剧下降。企业即便投入资金，也难以获得真正前沿的技术，造成该项指标的障碍度从2010年的不足5%飙升至2024年的34.09%。

(2)“双碳”目标与环保约束倒逼技术改造，但投资回报周期延长。河北省作为钢铁、水泥等产业大省，在“双碳”目标下面临巨大的减排压力。大量企业被迫进行环保技术改造(如超低排放改造、节能降碳改造)。这类改造投入大、直接经济效益不明显，且挤占了原本用于产品创新和工艺升级的资金。

(3)房地产与重工业周期调整，市场需求萎缩拉低创新转化。河北省装备制造、钢铁等产业的下游需求与房地产、基础设施建设高度相关。房地产行业深度调整，基建投资增速放缓，导致传统工业品需求萎缩。企业新产品销售面临“有货无市”的困境，即便有新产品开发，也难以转化为销售收入。这解释了为何“新产品销售收入”的障碍度从2017年的0%升至2024年的12.94%，市场转化环节出现严重堵塞。

4　结论与政策建议

4.1　结论

河北省规上企业R&D效率呈现“先升后降”的倒“V”型轨迹：2017年为效率峰值，2021年后急剧恶化，2024年已降至较低水平。该绩效下降主要源于技术获取与改造维度的短板效应。2024年该维度障碍度高达78.38%，其中技术改造经费支出和引进境外技术经费支出两项合计贡献近70%的总障碍度。R&D投入、机构建设、新产品开发等传统维度已全面优化，不再是制约因素。新产品销售收入障碍度从2017年的0%升至2024年的12.94%，表明尽管新产品开发经费充足，但市场转化效率下降，存在“高开发、低销售”的问题。VIKOR法计算出的R值从2020年的0.057 1飙升至2024年的0.104 8，与技术改造、引进境外技术障碍度的飙升高度同步。

4.2　政策建议

(1)精准整治技术获取与改造环节的低效投入。对技术改造项目进行投入产出审计，计算每百万元技术改造经费带来的新产品销售收入或有效专利增量，对增量降低或暂停补贴投入。改革引进境外技术的支持方式，将“直接补贴引进费用”改为“引进＋消化＋再创新”捆绑支持。

(2)建立技术获取效率的“负面清单”。对连续两年技术改造或引进境外技术障碍度超过20%的企业，限制或暂停其申报相关补贴，同时保持传统优势，防止“挤出效应”。R&D投入、机构建设等维度已表现优异，应继续维持强度，但需确保技术改造等支出不挤占研发人员薪酬和试验发展经费。建议设立研发强度底线，如可建立企业R&D经费支出占主营业务收入的比例不得低于1.5%，方可享受技术改造补贴等机制。

(3)建立动态监测与预警机制，进行年度障碍度监测。重点跟踪技术改造经费、引进境外技术经费、新产品销售收入3项指标。当任一指标的U值超过15%或前两大指标累计超过40%时，启动黄色预警；超过25%或前两大指标累计超过60%时，启动红色预警。设置VIKOR法的R值预警线为0.08，一旦超过即触发专项诊断。

参考文献

[1] 高萍，王小红. 财政投入、环境规制与绿色技术创新效率：基于2008-2015年规模以上工业企业数据的实证[J]. 生态经济，2018，34(4)：93-99.

[2] 王义新，孔锐. 价值链视角下规模以上工业企业科技创新效率及关键影响因素研究：基于DEA-Tobit两阶段模型[J]. 科技管理研究，2019，39(3)：136-142.

[3] 陈媛，王伟华，王福颖. 东部地区十省市规模以上工业企业研发投入绩效评价[J]. 科技和产业，2023，23(16)：154-159.

[4] 郭宇蒙. 中国规模以上工业企业技术创新效率评价[J]. 现代工业经济和信息化，2024，14(1)：33-35.

[5] 徐爱娟，李建伟. 西部12省份规模以上工业企业研发投入绩效研究[J]. 甘肃科技纵横，2025，54(9)：11-18.

[6] 黄信毅，刘文昌. 辽宁省规模以上工业企业创新系统动态仿真研究[J]. 统计与管理，2024，39(3)：120-128.

[7] 刘颖莹，贾辛欣，郭梦萦，等. 企业自主创新发展现状SWOT分析及对策研究：以山东省规模以上工业企业为例[J]. 企业科技与发展，2024(6)：37-41，65.

[8] 余佳雪，韩明华. 浙江省规模以上工业企业绿色创新能力评价研究[J]. 科技管理学报，2024，26(3)：95-106.

[9] 孔慧珍，罗凤娇. 河北省科技创新平台与制造业高质量发展耦合协调评价研究[J]. 河北科技大学学报(社会科

学版),2026,26(1):42-54.
[10] 杨武,任禹佳. 中国大中型规模以上工业企业科技创新景气指数研究[J]. 中国科技论坛,2025(4):75-84.
[11] 赵灿,刘敢仁. 规模激励与企业提质:基于规模以上工业企业资质认定门槛的聚束分析[J]. 经济研究,2026,61(1):25-48.
[12] 薛健,郭万山. 新常态"创新驱动发展战略"实施前后规模以上工业企业研发创新效率比较研究:基于DEA-MalmQuist指数方法的实证分析[J]. 工业技术经济,2020,39(5):65-73.
[13] 张满银,张丹. 京津冀地级市区规模以上工业企业创新效率分析[J]. 经济经纬,2019,36(1):26-33.
[14] 傅为忠,储刘平. 长三角一体化视角下制造业高质量发展评价研究:基于改进的CRITIC-熵权法组合权重的TOPSIS评价模型[J]. 工业技术经济,2020,39(9):145-152.
[15] OPRICOVIC S. A fuzzy compromise solution for multi-criteria problems[J]. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2007, 15(3): 363-380.
[16] 周美华,孟晓杰,路青. 京津冀生态文明建设水平时空演变特征及影响因素分析[J/OL]. 环境工程技术学报,1-15[2026-04-27]. https://link.cnki.net/urlid/11.5972.x.20260328.1412.002.

Dynamic Evaluation of R&D Performance of Industrial Firms above Designated Size in Hebei: An Empirical Analysis Based on CRITIC-VIKOR-Obstacle Degree Model

FU Yanli[1,2], GAO Chunyan[1,2], PEI Hongying[1,2]

(1. School of Urban Geology and Engineering, HeBei GEO University, Shijiazhuang 052160, China
2. Hebei Technology Innovation Center for Intelligent Development and Control of Underground Built Environment, Shijiazhuang 052160, China)

Abstract: The CRITIC(criteria importance through intercriteria correlation)-VIKOR(visekriterijumska optimizacija i kompromisno resenje)-obstacle degree model was applied to conduct a multi-dimensional dynamic evaluation of the R&D performance of above-scale industrial enterprises in Hebei Province from 2010 to 2024. It is found that the R&D performance peaks in 2017 and declines continuously, falling to near-historic lows by 2024. The core cause of the current performance deterioration is highly concentrated in the dimension of "technology acquisition and technological transformation," particularly the inefficiency of two types of expenditure: technological transformation funds and expenditures on importing foreign technology. Nearly 70% of the total obstacle degree in 2024 is attributed to these two factors. Meanwhile, the obstacle degree of new product sales revenue has been rising continuously, and a bottleneck in the market commercialization stage is observed. In contrast, traditional dimensions such as R&D investment, institutional construction, and new product development have been comprehensively optimized and are no longer constraints. Accordingly, it is recommended that the policy focus shift from "expanding investment scale" to "improving investment quality," with targeted remediation of inefficient projects in technological transformation and foreign technology introduction, unblocking the market commercialization channels for new products, and establishing a dynamic early warning mechanism based on the obstacle degree and the R value of VIKOR. A quantifiable decision-making basis for diagnosing the innovation efficiency of above-scale industrial enterprises in Hebei Province and similar regions is provided.

Keywords: industrial enterprises above designated size; R&D performance; CRITIC(criteria importance through intercriteria correlation)-VIKOR(visekriterijumska optimizacija i kompromisno resenje)-obstacle degree model