

资源互补视角下传统制造企业创新合作伙伴选择*

杨涛^{1a,2},王秋月¹,李玉林¹,苏加福^{1b,2}

(1. 重庆工商大学 a. 企业管理研究中心, b. 智能制造服务国际科技合作基地, 重庆 400067;

2. 电子科技大学 经济与管理学院, 四川 成都 611731)

摘要:在传统制造企业创新发展过程中,企业竞争日益激烈、内部资源局限导致企业无法适应快速发展的市场需求。鉴于此,本文研究了资源互补视角下传统制造企业创新合作伙伴选择新方法。首先,从知识资源、技术资源、市场资源、环境资源4个维度建立合作伙伴选择指标体系,并构建了基于粗糙集的评价指标权重确定方法,以此充分反映评价决策群体的真实感知,提高指标权重确定的合理性;其次,考虑到候选合作伙伴选择中评价信息的模糊性和不确定性,构建集成粗数和逼近理想解排序法(R-TOPSIS)的传统制造企业创新合作伙伴选择模型,并通过融入上述指标权重信息计算各候选合作伙伴的评价值粗数和粗数理想解,实现合作伙伴的优选;最后,以某传统制造企业创新合作伙伴选择为案例研究对象,验证所提方法的可行性和有效性。

关键词:传统制造企业;创新发展;合作伙伴;资源互补;粗数

中图分类号:F273.1;F425

文献标志码:A

文章编号:1672-0598(2025)04-0144-14

一、引言

互联网、大数据、人工智能等技术的迅猛发展改变着传统制造业的格局,传统制造企业亟待创新发展以适应快速发展的市场需求以及日益激烈的企业竞争^[1]。然而资源的局限性很大程度上阻碍了传统制

* 收稿日期:2022-01-05

基金项目:国家自然科学基金项目(71701027)“响应客户需求偏好的产品配置设计过程决策方法与协调机制研究”;教育部人文社会科学青年基金项目(17YJC630198)“考虑客户需求偏好的企业产品配置服务响应机制研究”;重庆市自然科学基金面上项目(cstc2020jcyj-msxmX0562)“数据赋能驱动传统制造企业创新发展的动力机制及实现路径研究”;重庆工商大学校级创新项目(yjscxx2020-094-02)“数据赋能驱动传统制造企业商业模式创新的影响因素研究”

作者简介:杨涛(1985—),男,安徽宿州人;重庆工商大学企业管理研究中心副教授,电子科技大学经济与管理学院博士后,硕士生导师,主要从事企业管理、传统制造企业转型、商业模式创新研究。

王秋月(1997—),女,四川达州人;重庆工商大学企业管理研究中心硕士研究生,主要从事企业管理研究。

李玉林(1995—),女,四川眉山人;重庆工商大学企业管理研究中心硕士研究生,主要从事企业管理研究。

苏加福(1987—),男,河北沧州人;重庆工商大学智能制造服务国际科技合作基地副研究员,电子科技大学经济与管理学院博士后,主要从事协同创新、知识管理研究。

本文引用格式:杨涛,王秋月,李玉林,等.资源互补视角下传统制造企业创新合作伙伴选择[J].重庆工商大学学报(社会科学版),2025,42(4):144-157.

造企业的创新发展。有学者研究表明,包含企业家精神在内的人力资源、财务资源、知识资源以及信息技术资源等企业生产经营过程中的各类资源是制约传统制造企业创新发展的重要影响因素^[2]。通过相关调查分析,传统制造企业往往难以支撑仅仅依靠内部资源进行创新活动所带来的高额成本,必须通过与环境中其他资源拥有方合作的方式弥补资源缺口,从而实现资源互补以谋求创新发展。如2013年著名制造企业海尔集团(Haier)与阿里巴巴(Alibaba)达成战略合作,海尔集团借助阿里巴巴在互联网电子商务和大数据信息技术方面的优势资源,合力打造行业领先的创新供应链管理解决方案及产品。因此,同优势互补、类型多样的伙伴合作,集成外部资源,弥补企业自身资源的不足,进行融合创新,已成为当下传统制造企业创新发展的有效途径。

伙伴合作是传统制造企业整合利用资源、实现创新发展的一个重要途径,也是商业模式创新的一种重要方式。优质的合作伙伴有助于传统制造企业整合内外部资源,突破原有的商业模式,提高核心竞争优势,进而实现创新发展。合作伙伴选择需要综合考虑合作对象多方面的因素,信息不对称和选择方法不科学都会导致合作效用低甚至合作失败,因此如何高效地从大量候选企业中选出与之高度契合的合作伙伴是传统制造企业面临的难题。

二、文献回顾

针对合作伙伴选择问题,国内外研究主要集中在选择合作伙伴的动因、优秀合作伙伴的特征和合作伙伴对创新的影响等三个方面。在选择合作伙伴的动因研究方面,不少学者认为通过合作创新可以帮助传统制造企业有效整合内外部各种资源,降低创新风险和创新成本,实现企业的突破性发展^[3],同时与拥有不同资源和核心能力高度互补的伙伴合作是提高产业链竞争优势的关键^[4],从而实现企业的高质量发展^[5]。也有学者认为旅游供应链参与者会通过寻求伙伴合作的方式达到降本增效的目的^[6],还有学者认为企业可以通过虚拟平台选择与其能力互补的制造商动态合作提高企业自身竞争优势^[7];高长元等^[8]认为通过跨界联盟合作能够聚集不同领域的资源,打破原有边界限制,实现具有重大价值和重大意义的创新;郭燕等^[9]指出传统制造企业应该进行服务化创新转型,通过跨界合作经营的方式进行创新价值主张以适应“互联网+”时代的激烈竞争。在优秀合作伙伴特征研究方面,刘嘉等^[10]认为对于绿色制造企业来说,与低污染、低能耗的企业建立合作关系,有助于将生态影响控制在最低水平,同时实现资源高效配置;胡萍等^[11]将物流时效性高、物流运载能力和信息化水平高的企业作为装备制造企业选择物流外包合作伙伴的标准。还有学者通过研究得出,大部分企业都会优先选择企业自身竞争力、产品自身竞争力和服务与协作能力强^[12],技术能力水平高、服务质量和信誉好^[13]的企业作为合作伙伴,从而推动企业实现开放式创新发展。此外学者如S. Kimiagari等^[14]认为合资企业在选择合作伙伴时应重点考虑其决策群体知识、教育背景和风险;Mindruta D等^[15]强调生物医药企业更倾向选择上游研究能力强和规模大的企业作为合作伙伴。在合作伙伴对创新的影响研究方面,已有文献在对比研究自主创新和合作创新的基础上,从财务和市场绩效表现^[16],空间效益^[17]和创新水平^[18]方面研究了合作对创新的影响。还有学者通过实证研究发现,民营企业与国有资本合作更能够降低融资成本、增加创新产出和提升创新效率^[19],尤其是外部组织合作对中小传统制造企业的产品和流程创新、组织创新以及营销创新^[20]都有积极的影响。蔡猷花等^[21]研究指出合作伙伴可以帮助企业应对创新的不确定性和复杂性,且合作关系稳定及关系扩张都正向促进合作创新绩效。刘凤朝等^[22]也针对创新绩效进行了研究,认为合作伙伴的知识多样性可以正向促进焦点企业创新绩效;Nebojša Stojčić^[23]认为与高质量的合作伙伴共享资源有利于促进企业的增量创新和创新产品的商业化;张慧等^[24]利用系统动力学模型揭示了合作伙伴的组织资源异质性和网络资源异质性对创新有正向影响;Guertler M R等^[25]认为通过伙伴合作可以帮助企业在战略和业务上实现开放式创新,提高创新成功率。

综上,通过对上述国内外研究成果梳理发现,企业为了实现快速的结构性转型和高质量发展,通常会选择与产业链上下游的其他企业合作创新,且在选择合作伙伴时,多考虑合作伙伴的竞争力、资源利用率、技术水平等。但从资源互补视角的研究不多,且忽视了资源在合作伙伴间的全面性和多样性,相关实质性学术研究成果十分有限。资源互补是指企业寻找自身发展所需要的但仅存在于其他方的资源为自身所用,企业通过与自身资源互补的伙伴合作实现资源整合再利用,进而实现创新发展。在此,本文在现有研究基础上,提出从知识资源、技术资源、市场资源、环境资源四个方面来分析传统制造企业创新发展的资源需求,集成粗数(Rough number)和逼近理想解排序法(Topsis)构建传统制造企业创新发展合作伙伴选择模型,提出创新发展合作伙伴评价选择方法,优选出最佳的合作伙伴。

三、传统制造企业创新发展合作伙伴选择研究过程分析

传统制造企业通过伙伴合作实现资源互补,是其谋求创新发展的有效途径。为使传统制造企业创新发展合作伙伴选择过程充分考虑企业自身的资源需求和候选合作伙伴的资源供给,并选择出资源互补最优的合作伙伴,本文首先通过获取传统制造企业谋求创新发展的资源需求,构建传统制造企业创新发展合作伙伴选择指标体系,作为伙伴选择的依据。其次,为了充分利用原始信息,以最直接的方式剔除冗余数据,表示系统中条件属性和决策属性间的依赖和关联关系,利用粗糙集理论确定各指标的权重。然后,在伙伴选择的评价决策过程中,由于专家评分方法的模糊性和主观性较强,层次分析法很难把握一致性,模糊集方法需要隶属度函数且工作量大,选择粗数方法(Rough number)对评价信息进行预处理,能够反映所有评审专家的真实感知,且不需要额外的先验知识,提高数据处理效率;逼近理想解排序法(Topsis)对于数据、指标和样本有很大的包容性^[25]。因此,结合粗数(Rough number)和逼近理想解排序法(Topsis)并融入上述评价指标权重方法计算各候选合作伙伴的评价指标粗数区间和粗数正负理想解,通过相对接近度衡量资源互补程度,能够得到具有良好可比性的评价结果排序,实现最优合作伙伴输出。基于R-TOPSIS的传统制造企业创新发展合作伙伴选择模型如图1所示。

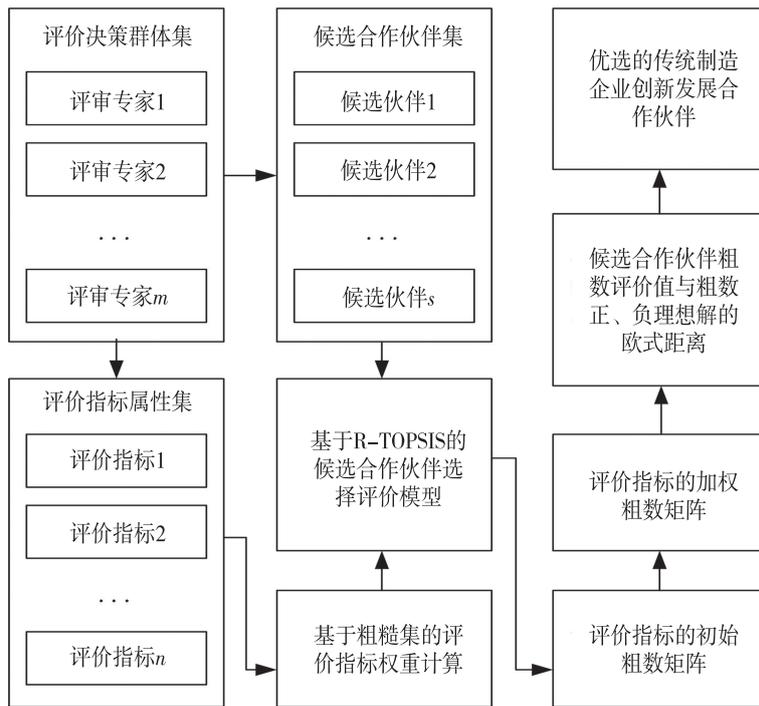


图 1 基于 R-TOPSIS 的传统制造企业创新发展合作伙伴选择模型

在此,为便于后续内容研究,作如下参数说明:设 $F = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_i, \dots, f_s\}$, $s \in N^*$ 为所有候选合作伙伴的集合,其中 $f_i \in F$ 表示第 i 个候选合作伙伴, f_0 为传统制造企业。评审专家集合为 $\chi = \{\chi_1, \chi_2, \chi_3, \dots, \chi_k, \dots, \chi_m\}$, 其中 $\chi_k \in \chi$ 表示第 k 个评审专家, $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_j, \dots, \beta_n\}$ 为所有一级指标的集合,其中 $\beta_j \in \beta$ 表示第 j 个指标属性, $\beta_j = \{\theta_{j1}, \theta_{j2}, \theta_{j3}, \dots, \theta_{jt}, \dots, \theta_{jn}\}$ 表示第 j 个一级指标下所包含的二级指标的集合, $\theta_{jt} \in \beta_j$ 表示一级指标 β_j 下的第 t 个二级指标; $W = \{W_1, W_2, W_3, \dots, W_j\}$ 为所有一级指标的权重集合,其中 $W_j \in W, W_j \geq 0$ 表示第 j 个一级指标的权重; e_{jt} 表示一级指标 β_j 下二级指标 θ_{jt} 的权重,且每个一级指标 β_j 下 $\sum_{t=1}^n e_{jt} = 1, e_{jt} \geq 0$ 。

四、传统制造企业创新发展合作伙伴选择指标体系构建

(一) 指标建立

资源是企业控制的所有资产、能力、组织过程、企业特质、信息、知识等,是企业为了提升自身的效率和效益而用来创造并实施战略的基础。学者们普遍认为企业创新发展资源可划分为一般性资源和创新性发展资源两类。其中,一般性资源主要包括物质资源、财务资源;创新性资源主要包括人力资源、企业家资源、技术资源、组织资源和关系资源等^[26]。然而,传统制造企业缺少上述部分资源,这些资源的局限性很大程度上阻碍了传统制造企业的创新发展,而通过合作寻找自身所需要的资源与伙伴实现资源互补,可以让传统制造企业快速获得这类优质资源,吸收并利用伙伴的资源达到合作共赢^[27]。已有的伙伴合作研究在指标体系建立方面,多从协作能力和竞争力^[12]、技术水平和信誉^[13]、知识和风险^[14]等方面进行考虑,指标体系较为单一,且多聚焦微观层面,缺乏对市场、环境等宏观资源要素的综合考量。知识资源和技术资源是创新发展的核心要素,是创新发展必不可少的动力源泉。同时,良好的市场资源和环境资源是知识资源和技术资源通过产品转向消费者的重要保障。传统制造企业与合作伙伴在这些资源方面的互补性越强,彼此的联系就越紧密,合作的收益也就越大。因此,本文结合当下数字化的时代特征和传统制造企业的特点,从知识资源、技术资源、市场资源、环境资源四个维度构建传统制造企业创新发展合作伙伴选择指标体系,提升指标体系的全面性和综合性。

1. 知识资源

基于知识基础观,企业的知识资源对于企业发展至关重要^[28]。知识资源(β_1)是传统制造企业创新发展的核心资源,是影响传统制造企业创新发展广度和深度的关键因素。杨磊等^[29]将知识分为隐性知识和显性知识,阴艳超等^[30]将设计知识资源、计算知识资源、生产加工知识资源等作为云制造服务系统运行所需知识资源的组成内容。在互联网、大数据以及人工智能时代,知识的更新迭代速度很快,传统制造企业自身的知识资源存量是非常有限的,仅仅依靠传统制造企业自身很难创造出必需的知识资源。在此,本文选取互联网、大数据以及人工智能背景下的创新知识(θ_{11})、运营知识(θ_{12})以及风险管理知识(θ_{13})来描述传统制造企业创新发展所需要的知识资源需求。

2. 技术资源

技术创新是企业创新发展的源动力之一,也是企业寻求突破的难点。在激烈的市场竞争中,传统制

造企业很难完全依赖自身去开拓技术资源(β_2),进行技术研发创新。为了增强自身的技术创新能力和创新速度并降低成本和风险,传统制造企业需要通过伙伴合作寻求技术资源的互补,实现技术资源借力,为其创新发展提速^[1]。吴菲菲等^[31]从技术资源匹配视角研究了研发合作伙伴的识别与选择。本文认为核心专利规模(θ_{21})、智能化设备投入(θ_{22})、互联网技术人员(θ_{23})可以在一定程度上反映企业的技术资源情况,因此从上述三个方面来描述传统制造企业创新发展所需要的技术资源。核心专利规模大、智能化设备投入大、互联网技术人员多说明企业重视技术资源的开发,在技术方面有一定的潜力,能够支撑一定体量的技术创新。

3. 市场资源

传统制造企业要想保持原有的市场份额和竞争力,或者进一步扩大市场份额并提高产品竞争力,优质的市场资源(β_3)是不可或缺的。已有的研究包括王婷等^[27]更多的是将市场资源概括为市场知识、市场渠道、客户关系等企业所拥有或控制的与市场关系密切的各种资源的综合。考虑到当前数字化技术发展背景下的新兴经济形态和经济手段,本文采用新媒体营销渠道(θ_{31})、互联网消费受众(θ_{32})、智慧物流供应商(θ_{33})来描述传统制造企业创新发展所需要的市场资源。新媒体是互联网背景下重要的营销渠道;网络消费越来越受青睐^[32],网络消费受众对于企业的影响越来越大;物流供应商对于产品的快速流转起着关键作用。因此,合作伙伴成熟的新媒体营销渠道和一定基数的网络消费受众以及智慧物流供应商资源可以帮助传统制造企业快速稳固和拓展市场,实现产品的价值转化。

4. 环境资源

良好的环境资源(β_4)是合作顺利进行的保障,传统制造企业环境资源的好坏直接反映企业生命力的强弱,影响传统制造企业的可持续发展。邵明晖等^[33]在研究合作伙伴选择问题时就提出了合作伙伴科研环境指标,包括企业文化兼容性、法律政策环境、自然地理环境。本文采用国际法律安全(θ_{41})、政府财政补贴(θ_{42})、企业品牌口碑(θ_{43})三个指标来衡量候选合作伙伴的环境资源。在国际法律安全范围内运营的企业无疑是前提条件,关乎企业的生命;相关创新发展政策补贴可以给传统制造企业带来财力支持;企业品牌口碑则代表着企业的外在形象,是企业软实力和知名度的体现。因此,与拥有上述环境资源的候选伙伴合作,实现环境资源互补,可以给传统制造企业创新发展带来额外的效益加成。

传统制造企业创新发展合作伙伴选择指标体系如图2所示。由于企业规模和所处的发展阶段对于合作至关重要,企业规模在一定程度上反映企业的稳定性和综合实力。同时,根据生命周期理论,企业发展一般分为创业期、成长期、成熟期、衰退期四个阶段。创业期企业各方面还在搭建中,破产率较高;成长期企业初具规模,逐渐被认可,有一定的竞争力;成熟期企业趋于稳定,抗风险能力较强,在市场中占有一席之地,各种资源比较完备;衰退期企业竞争优势下滑,可能陷入经营困境,需要突破创新^[34]。因此,在对具体的企业进行评价选择前,尽量选择规模大且处于成熟期的企业,以此确定候选合作伙伴,有利于提高后续按照指标体系进一步评价选择的科学性。接下来,本文利用粗糙集理论对合作伙伴选择指标权重进行测度,然后采用粗数(Rough number)结合逼近理想解排序法(Topsis)进行排序并选择出最优的合作伙伴。

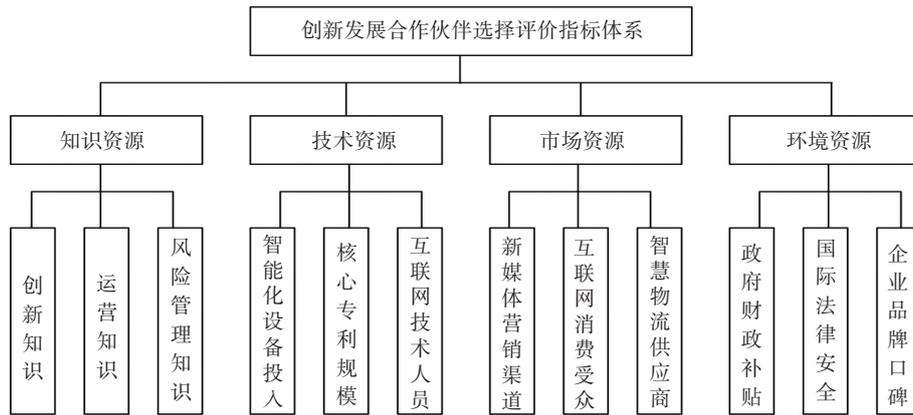


图 2 传统制造企业创新发展合作伙伴选择评价指标体系

(二) 指标权重计算

在评价指标权重的确定过程中,决策群体评价信息的客观性和确定性较弱。粗糙集理论是一种能够很好处理模糊性、不确定性和不一致性的数学工具,在解决多属性评价决策问题中的指标权重时,能够很好地提高评价决策信息的客观性和准确性,降低主观性和不确定性对评价决策结果的干扰。此外,基于粗糙集理论的权重计算过程不需要收集额外的数据信息,有效地避免了传统权重计算方法如 AHP、遗传算法、模糊综合评价法等处理数据所造成的复杂性和不确定性^[35]。下面利用粗糙集计算文中各评价指标的权重值。

定义 1 四元组 $Z=(V, X, S, L)$ 是一个决策信息系统, $X=A \cup B, A \cap B = \emptyset$, 则称 $Z=(V, A, B, S, L)$ 为决策表, 其中 $B=\{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, \dots\}$ 为条件属性集, A 为决策属性集。

定义 2 决策信息系统 $Z=(V, X, S, L)$, 其中 $V=\{V_1, V_2, V_3, \dots, V_v\}$ 为对象数据的集合, 且 $V \neq \emptyset$, 称 V 为论域, X 为一个有限非空集合, 是所有属性的集合, $X=\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_l\}$ 。 $S = \bigcup_{X_l \in X} S_{X_l}$, S_{X_l} 是属性 $X_l \in X$ 的值域, $L: V \times X \rightarrow S$ 是信息函数, 为单一映射, 使论域 V 中任意对象的属性 X 具有唯一的信息值, 即 $\forall X_l \in X, \forall v_i \in V, L(v_i, X_l) \in S_{X_l}$ 。

采用粗糙集方法对传统制造企业创新发展合作伙伴选择评价指标处理的基本步骤如下:

步骤 1: 确定二级评价指标的条件属性集 B 和综合评价值 A , 求一级指标 β_j 下二级指标 θ_{ji} 的依赖度 $e_{B-l}(A)$ 。 $e_{B-l}(A)$ 表示一级指标 β_j 下二级指标 θ_{ji} 和决策属性 A 之间的依赖度。

$$e_{B-l}(A) = \frac{|pos_{B-l}(A)|}{|pos_B(A)|} \tag{1}$$

其中, A 和 B 为 X 中的等价关系, $pos_B(A)$ 为 A 的 B 正域, 是 A 中所有根据分类 V/B 的信息可以准确地划分到关系 A 的等价类中去的对象的集合。

步骤 2: 求一级评价指标 β_j 下二级指标 θ_{ji} 的权重 e'_{ji} 。 指标 θ_{ji} 的权重可以理解为从评价指标集中去掉指标 θ_{ji} 后, 其决策评价结果大小变化的程度, 变化越大, 说明指标 θ_{ji} 越重要。 由此得到如下公式计算指标 θ_{ji} 的重要性。

$$e'_{ji} = e_B(A) - e_{B-l}(A) \tag{2}$$

步骤 3: 指标权重归一化处理。将一级评价指标 β_j 下二级指标 θ_{ji} 的权重进行归一化处理, 得到二级评价指标的最终权重 e_{ji} 。

$$e_{ji} = \frac{e'_{ji}}{\sum_{j=1}^n e'_{ji}} \quad (3)$$

步骤 4: 由于各传统制造企业的资源需求不尽相同, 在进行伙伴选择时对于每一类资源评价属性指标的权重要求必然也不一样。因此, 本文对于一级评价指标的权重采用动态可调整的方式确定, 即一级评价指标的权重集合为 $W = \{W_1, W_2, W_3, \dots, W_j\}$, 其中 $W_j \in W$ 表示第 j 个评价属性指标 β_j 的权重, 企业可根据自身创新发展实际的资源需求来确定权重的大小。

五、基于 R-TOPSIS 的传统制造企业创新发展合作伙伴选择

(一) 基于 R-TOPSIS 的合作伙伴选择模型构建

为合理高效确定与传统制造企业资源高度互补的合作伙伴, 需要针对候选合作伙伴进行评价筛选。以往有关多属性评价决策研究中, 多采用决策者打分来选择出最佳的结果。但由于实际问题的复杂性和评判的主观性, 单一的决策者打分容易影响结果的准确性和可靠性。粗数基于粗集理论提出, 是通过分析决策群体对决策对象的评价信息, 用可计算的粗数上限和粗数下限转化成区间数的形式进行描述, 且无需额外的数据信息, 不丢失原始数据, 能充分反映决策群体的真实感知。同时, 逼近理想解排序法 (Topsis) 作为多属性决策方法能够充分利用原始数据信息, 可以借理想解精确反映评价方案间的差距, 从而帮助决策者选择最优的方案^[33], 增强决策科学性和合理性。在此, 本文结合粗数定义^[36]和逼近理想解排序法 (Topsis) 的基本思想, 构建一种基于 R-TOPSIS 的传统制造企业创新发展合作伙伴选择模型, 并融入粗糙集理论计算的权重信息, 选择出最优的合作伙伴。该选择模型的分析步骤如下:

步骤 1: m 个评审专家对候选合作伙伴 f_i 在一级评价指标 β_j 下二级指标 θ_{ji} 的评价值为 $\gamma_{ij}(k)$ ($i=1, 2, 3, \dots, s, j=1, 2, 3, \dots, n, t=1, 2, 3, \dots, h, k=1, 2, 3, \dots, m$), 获得各候选合作伙伴 f_i 在一级评价指标 β_j 下二级指标 θ_{ji} 的初始评价矩阵。

$$D' = \begin{bmatrix} \gamma_{i1}(1) & \gamma_{i1}(2) & \cdots & \gamma_{i1}(m) \\ \gamma_{i2}(1) & \gamma_{i2}(2) & \cdots & \gamma_{i2}(m) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \gamma_{it}(1) & \gamma_{it}(2) & \cdots & \gamma_{it}(m) \end{bmatrix}_{t \times m} \quad (4)$$

步骤 2: 候选合作伙伴 f_i 在一级评价指标 β_j 下二级指标 θ_{ji} 的初始评价矩阵的粗数处理。

1. $\gamma_{ij} = \{\gamma_{ij}(1), \gamma_{ij}(2), \gamma_{ij}(3), \dots, \gamma_{ij}(m)\}$ 为候选合作伙伴 f_i 在一级评价指标 β_j 下二级指标 θ_{ji} 的评价值集合, 若 γ_{ij} 集合中的评价值可以分为 d 个属性类, $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \dots, \alpha_d, \dots, \alpha_z\}$ 为所有属性类的集合, 若 z 个属性类之间可以按照 $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4, \dots, < \alpha_d, \dots, < \alpha_z$ 进行排序, 则对于一级评价指标 β_j 下二级指标 θ_{ji} 的任意类 $\alpha_d, \alpha_d \in \alpha, \alpha_d$ 的上近似限和下近似限分别为:

$$\overline{Apr}(\alpha_d) = \cup \{ \gamma_{ij1}(m) \in \gamma_{ij1} / \alpha(\gamma_{ij1}(m)) \geq \alpha_d \} \quad (5)$$

$$\underline{Apr}(\alpha_d) = \cup \{ \gamma_{ij1}(m) \in \gamma_{ij1} / \alpha(\gamma_{ij1}(m)) \leq \alpha_d \} \quad (6)$$

其中,下近似限表示 γ_{ij1} 中所有类值等于及小于 α_d 的全部评价值,上近似限表示 γ_{ij1} 中所有类值大于或等于 α_d 的全部评价值。

2. 一级评价指标 β_j 下二级指标 θ_{j1} 的属性类 α_d 可以用粗数表示,粗数的上限和下限分别表示为:

$$\overline{\lim}(\alpha_d) = \frac{1}{Z_p} \sum \alpha(\gamma_{ij1}(m)) \mid \gamma_{ij1}(m) \in \overline{Apr}(\alpha_d) \quad (7)$$

$$\underline{\lim}(\alpha_d) = \frac{1}{Z_q} \sum \alpha(\gamma_{ij1}(m)) \mid \gamma_{ij1}(m) \in \underline{Apr}(\alpha_d) \quad (8)$$

其中, Z_p 和 Z_q 分别表示属性类 α_d 的上近似限和下近似限所包含的属性数。则一级评价指标 β_j 下的评价属性类 α_d 的粗数为 $RN(\alpha_d) = [\overline{\lim}(\alpha_d), \underline{\lim}(\alpha_d)]$ 。

3. 对于候选合作伙伴 f_i , 一级评价指标 β_j 下的二级指标 θ_{j1} 的粗数上限、粗数下限、粗数为:

$$\overline{\lim}(\theta_{j1}) = \frac{1}{g} \sum \overline{\lim}(\alpha_d) \quad \theta_{j1} \in \theta \quad (9)$$

$$\underline{\lim}(\theta_{j1}) = \frac{1}{g} \sum \underline{\lim}(\alpha_d) \quad \theta_{j1} \in \theta \quad (10)$$

$$CRN(\theta_{j1}) = [\overline{\lim}(\theta_{j1}), \underline{\lim}(\theta_{j1})] \quad (11)$$

其中, g 表示评审专家的数量, $\overline{\lim}(\theta_{j1})$ 和 $\underline{\lim}(\theta_{j1})$ 分别为一级评价指标 β_j 下二级评价指标中 θ_{j1} 对应的类的粗数上限和下限。

4. 同理,采用上述方法依次计算每个候选合作伙伴 f_i 的所有一级评价指标 $\beta_j(j=1,2,3,\dots,n)$ 下二级评价指标 θ_{j1} 的粗数,并融入上述粗糙集理论计算的二级指标权重和动态调整的一级评价指标权重,得到各候选合作伙伴 f_i 经粗数处理后的综合加权评价矩阵 $D = [\varphi_i]_{1 \times n}$ 。 $\varphi_i = (\overline{\varphi}_i, \underline{\varphi}_i)$, 表示候选合作伙伴 f_i 的粗数评价信息。

$$\varphi_{ij} = \sum e_{jt} \cdot CRN(\theta_{jt}) \quad (12)$$

$$\varphi_i = \sum_{j=1}^n W_j \cdot \varphi_{ij} \quad (13)$$

$$D = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_n) \quad (14)$$

步骤3: 引入 Topsis 方法计算出粗数表示的正负理想解,决策群体的粗数正理想解和粗数负理想解分别记为:

$$H_i^+ = [\overline{u}_i, \underline{u}_i] = [\max_{1 \leq i \leq s} (\overline{\varphi}_i), \min_{1 \leq i \leq s} (\underline{\varphi}_i)] \quad (15)$$

$$H_i^- = [\overline{v}_i, \underline{v}_i] = [\min_{1 \leq i \leq s} (\overline{\varphi}_i), \max_{1 \leq i \leq s} (\underline{\varphi}_i)] \quad (16)$$

步骤4: 根据公式(15)和(16)计算欧氏距离,并基于此计算各候选合作伙伴与传统制造企业的相对接近度。

$$E_i^+ = \sqrt{\frac{1}{2} [(\overline{\varphi}_i - \overline{u}_i)^2 + (\underline{\varphi}_i - \underline{u}_i)^2]} \quad (17)$$

$$E_i^- = \sqrt{\frac{1}{2} [(\bar{\varphi}_i - \bar{v}_i)^2 + (\underline{\varphi}_i - \underline{v}_i)^2]} \tag{18}$$

$$E_i = \frac{E_i^-}{E_i^+ + E_i^-} \tag{19}$$

E_i 表示候选合作伙伴的相对接近度,其值越大,说明候选合作伙伴与传统制造企业创新发展的资源需求互补性越强,对应的合作伙伴最优,记为 f^* 。

(二)算例分析

本文以传统制造企业 G 的创新发展合作伙伴选择为例,验证所提方法的可行性和有效性。企业 G 是一家重型装备制造企业,主要从事建材设备、冶金设备、起重运输设备等产品的研发、设计和生产经营。由于自身资源限制和创新能力不足,企业 G 已无法适应快速变化的市场需求和日益激烈的市场竞争,且无力承担独自创新所带来的高额成本,遂决定寻找合作伙伴,通过资源互补实现创新发展。在该决策问题中,传统制造企业 G 为了寻求创新发展所需要的知识资源、技术资源、市场资源和环境资源,聘请了 5 名行业评估专家,首先按照企业规模排名行业前 50,且发展阶段处于成熟期的要求,初步确定 6 家符合要求的候选合作伙伴。然后按照本文的指标体系对 6 家候选合作伙伴进行匿名评价,6 家候选合作伙伴为 $f = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6\}$ 。传统制造企业 G 创新发展合作伙伴选择过程如下:

步骤 1:传统制造企业 G 合作伙伴指标体系构建如图 2 所示。

步骤 2:评价指标权重确定。

针对传统制造企业 G 的 6 家候选合作伙伴的资源拥有情况给出一个决策表。其中有限论域 $U = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$,决策属性集 A 分为优质(A_1)、一般(A_2)、差(A_3),条件属性集 B 分为重要(B_1)、较重要(B_2)、不重要(B_3),依次得到一级评价指标 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 下二级指标 θ 的决策属性值,由式(1)(2)和式(3)分别计算一级评价指标 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 下各个二级指标的权重,如表 1 所示。

表 1 二级指标条件属性权重

指标	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	θ_{21}	θ_{22}	θ_{23}	θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}	θ_{41}	θ_{42}	θ_{43}
权重	0.35	0.32	0.33	0.28	0.42	0.30	0.30	0.40	0.30	0.34	0.33	0.33

步骤 3:各评审专家对候选合作伙伴进行评价。由 5 名行业专家 $\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4, \chi_5$ 组成匿名评审团,且评审团内互不干扰,综合考虑各候选企业的资源情况,采用 2、4、6、8、10 分值形式对各候选合作伙伴进行打分,经过多轮反复斟酌,得到各候选伙伴的评价值。分值越高说明候选合作伙伴的评价指标越好,越能满足传统制造企业 G 创新发展的资源需求,以此建立各候选合作伙伴的初始评价矩阵。按照图 2 的指标体系给出评价数据。例如,选取候选合作伙伴 f_1 作为评价对象,候选合作伙伴 f_1 的初始评价矩阵 D_1 如表 2 所示。

表 2 候选合作伙伴 f_1 的初始评价矩阵 D_1

评价指标	χ_1	χ_2	χ_3	χ_4	χ_5
θ_{11}	6	8	4	8	6

续表2

评价指标	χ_1	χ_2	χ_3	χ_4	χ_5
θ_{12}	10	6	8	4	4
θ_{13}	4	2	6	6	4
θ_{21}	4	8	6	6	10
θ_{22}	4	4	2	6	6
θ_{23}	8	10	6	4	8
θ_{31}	6	8	4	4	8
θ_{32}	4	6	8	6	4
θ_{33}	6	2	4	8	6
θ_{41}	8	8	6	2	4
θ_{42}	4	6	8	8	6
θ_{43}	6	4	6	8	6

步骤 4:将表 2 中的评价信息经过粗数处理后得到候选合作伙伴 f_1 的粗数评价矩阵,如表 3 所示。

表 3 候选合作伙伴 f_1 的粗数评价矩阵

评价指标值的粗数表示		
θ_{11} (5.49,7.28)	θ_{12} (4.91,5.44)	θ_{13} (3.49,5.28)
θ_{21} (5.49,8.16)	θ_{22} (3.30,4.70)	θ_{23} (5.84,8.51)
θ_{31} (4.93,7.07)	θ_{32} (4.72,6.51)	θ_{33} (3.84,6.51)
θ_{41} (4.04,7.09)	θ_{42} (5.49,7.28)	θ_{43} (5.30,6.70)

步骤 5:根据表 1 各一级评价指标下二级指标的权重和公式(12),可以计算得到候选合作伙伴 f_1 的加权粗数评价矩阵 $D1 = \{(4.64,6.08), (4.686,8.1), (4.52,6.68), (4.93,6.99)\}$ 。同时,本文假设传统制造企业 G 对于知识资源、技术资源、市场资源、环境资源的需求强度大致相同,设置一级评价指标的权重为 $W_1 = W_2 = W_3 = W_4 = 0.25$,由公式(13)计算可得各候选合作伙伴的综合评价价值。将评审专家对各候选合作伙伴的评价结果进行集成,建立粗数表示的综合加权评价矩阵 D ,如表 4 所示。

表 4 候选合作伙伴综合加权评价矩阵 D

候选合作伙伴	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
综合加权评价价值	(4.69,6.64)	(3.49,5.44)	(2.91,4.97)	(3.99,5.90)	(3.43,6.48)	(3.70,5.96)

步骤 6:根据公式(15)和(16)计算粗数正、负理想解,如表 5 所示。

表 5 粗数理想解

正理想解 H^+	(4.69, 4.97)
负理想解 H^-	(2.91, 6.64)

步骤 7:根据公式(17)和(18)计算候选合作伙伴粗数评价值与粗数正、负理想解的欧式距离,如表 6 所示。

表 6 欧式距离

欧式距离	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
E^+	1.18	0.91	1.26	0.82	1.39	0.99
E^-	1.26	0.94	1.18	0.93	0.38	0.74

步骤 8:根据公式(19)计算相对接近度如表 7 所示,并根据各候选合作伙伴的相对接近度大小进行排序,相对接近度值越大,候选合作伙伴与传统制造企业的资源互补性越好,该候选合作伙伴越优,各候选合作伙伴的相对接近度比较示意图如图 3 所示。排序结果为 $E_4 > E_1 > E_2 > E_3 > E_6 > E_5$ 。因此,在上述 4 个维度的评价指标测度下,候选合作伙伴 f_4 为最优合作伙伴 f^* 。

表 7 相对接近度

候选合作伙伴	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
相对接近度	0.52	0.51	0.48	0.53	0.21	0.43

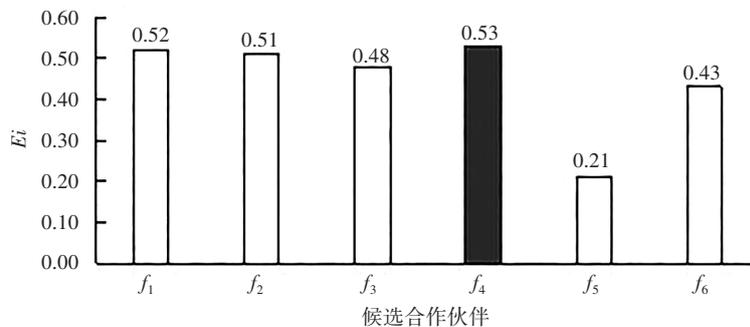


图 3 各候选合作伙伴相对接近度 E_i 比较示意图

六、结论与建议

(一) 结论

大部分传统制造企业对互联网、大数据、人工智能发展下的企业商业运营反应迟缓,对互联网、大数据、人工智能新时代企业价值创造的新特点、新规律和新模式的认识和理解不充分,深度依赖传统商业模式且难以依靠自身力量扭转局面,只能寻求合作创新以适应快速变化的市场需求和日益激烈的企业竞争。本文的主要结论及贡献有两点:一是基于资源互补的视角并结合数字化的时代特征和传统制造企业

的发展诉求,从知识资源、技术资源、市场资源、环境资源4个维度建立传统制造企业创新发展合作伙伴选择指标体系,充分考虑资源的全面性和多样性,使该指标体系更为完善合理,具有一定的系统性和代表性。二是构建了基于R-TOPSIS的传统制造企业创新发展合作伙伴选择模型,提出了基于粗糙集理论的权重计算方法,提高了权重决策过程中的客观性和确定性,并将上述权重计算方法融入整个选择过程,使得合作伙伴选择更好地反映评审专家的真实感知,贴合实际。

(二) 建议

在互联互通的数字化时代,传统制造企业必须突破“信息孤岛”,拥抱变化,积极主动寻求外部优势资源,采用科学合理的评价决策方法,高效地选择合适的合作伙伴进行协同创新发展,双方通过资源共享、风险共担、利益共享,为彼此注入新的活力,最大限度地激发合作势能,使传统制造企业突破自身局限,绕过行业技术壁垒,通过优势资源互补,提高核心竞争优势。对此,本文有如下建议:

1. 传统制造企业要充分考虑自身发展局限和发展需求,敢于突破和改变传统的管理思维和管理模式,与数字技术领域的企业进行融合创新合作,重视优势资源的内化,包括深化业务关联、延伸产业链条和渗透数字技术,加快传统制造向智能制造转变,提升产品附加值,发展服务型制造,加强跨产业协同联动,不断提高传统制造企业的竞争优势。

2. 明确合作伙伴选择目标,准确定位、界定评价对象即候选合作伙伴的范围,降低找寻候选合作伙伴的成本和盲目性,以提高评价选择效率。此外,全方位了解企业的文化、经营理念、市场表现、财务状况等,尽量减少信息不对称造成的误判,避免合作伙伴的低效选择。最后,要规范操作流程,保证评价决策方法的科学运用,选择合适的合作伙伴。

3. 政府助力传统制造企业合作创新,出台支持企业数字化转型的财税政策,提供良好的数字生态环境。同时,建立健全创新创业融合云平台,帮助传统制造企业发掘优势资源,发挥数字技术的叠加和倍增作用。通过加强数字基础设施建设和数据安全体系建设,加快制定行业数字化标准和体系,为传统制造企业合作创新保驾护航。

参考文献:

- [1] 袁晓东,陈静. 专利信息分析在技术创新合作伙伴选择中的应用[J]. 情报杂志,2011(8):22-27.
- [2] 罗序斌.“互联网+”驱动传统制造业创新发展的影响机理及提升路径[J]. 现代经济探讨,2019(9):78-83.
- [3] 李柏洲,尹士. 基于一致性的制造业企业伙伴选择多属性决策模型研究——合作创新视角[J]. 运筹与管理,2018(6):6-13.
- [4] 王文静,孙峥峥,刘春原. 装配式建筑产业链合作伙伴选择的三阶段模型及方法研究[J]. 科技促进发展,2021(2):326-336.
- [5] 刘继昌. 发电企业供应链战略合作伙伴的选择与管理[J]. 中国市场,2020(33):154-155.
- [6] 李小康,郭棚东. 基于威慑视角下的旅游供应链合作伙伴选择策略研究[J]. 中国市场,2021(15):74-76.
- [7] NIKGHADAM, SHAHRZAD, SADIGH, et al. A survey of partner selection methodologies for virtual enterprises and development of a goal programming-based approach. [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016(5-8):1713-1734.

- [8] 高长元,张晓星,张树臣.多维邻近性对跨界联盟协同创新的影响研究——基于人工智能合作专利的数据分析[J].科学学与科学技术管理,2021(5):100-117.
- [9] 郭燕,陈之昶.传统制造企业服务化转型研究——基于“互联网+”的背景[J].技术经济与管理研究,2020(7):11-15.
- [10] 刘嘉,汪永超,陈坤.基于CRITIC算法的绿色制造合作伙伴选择[J].工具技术,2021(2):43-47.
- [11] 胡萍,许梦恬,刘伯超.制造强国背景下装备制造企业物流外包合作伙伴选择研究[J].全国流通经济,2019(10):23-24.
- [12] 余保华,何刚,李恕洲,等.基于ANP的供应链合作伙伴选择综合评价[J].商业经济研究,2017(4):99-100.
- [13] 孙圣兰.基于模糊的创新动态联盟伙伴选择多属性决策模型[J].运筹与管理,2015(4):36-40.
- [14] KIMIAGARI S, KEIVANPOUR S, JOLAI F. Application of fuzzy group analytic hierarchy process in partner selection of international joint venture projects[J]. Scientia Iranica, 2016(6):2959-2976.
- [15] MINDRUTA D, MOEEN M, AGARWAL R. A two-sided matching approach for partner selection and assessing complementarities in partners' attributes in inter-firm alliances[J]. Strategic Management Journal, 2016(1):206-231.
- [16] 唐曼萍,郭悦瞻,徐千睿,等.创新模式选择对企业绩效影响的对比研究——自主创新抑或合作创新[J].会计之友,2021(17):43-50.
- [17] 陈孝明,谢冬敏.粤港澳大湾区金融合作对区域创新影响研究——基于空间杜宾模型的分析[J].金融与经济,2021(6):16-23.
- [18] 关鹏,王曰芬,黄钦,等.区域创新合作网络对企业技术创新绩效的影响研究——以长三角为例[J].农业图书情报学报,2021(6):40-53.
- [19] 邹丰华,张晨.民营企业与国有资本合作对创新水平的影响[J].税务与经济,2021(3):95-103.
- [20] DOUGLAS D, RADICIC D, PUGH G, et al. Cooperation for innovation: impact evidence for European manufacturing SMEs[J]. Academy of Management Annual Meeting Proceedings, 2015(1):12471.
- [21] 蔡歆花,傅令菲,梁娟.联盟关系演化、网络结构洞与企业合作创新绩效[J].中国科技论坛,2021(10):94-103.
- [22] 刘凤朝,罗蕾,张淑慧.知识属性、知识关系与研发合作企业创新绩效[J].科研管理,2021(11):155-163.
- [23] NEBOJŠA STOJČIĆ. Collaborative innovation in emerging innovation systems: Evidence from Central and Eastern Europe[J]. The Journal of Technology Transfer, 2020(2):1-32.
- [24] 张慧,谷勇杰,饶湖广.创新合作伙伴资源异质性的影响研究——基于系统动力学的建模与仿真[J].中南大学学报(社会科学版),2020(6):130-139,182.
- [25] GUERTLER M R, LINDEMANN U. Identifying open innovation partners: A methodology for strategic partner selection [J]. International Journal of Innovation Management, 2016(5):1640011.
- [26] 胡元林,钱丽.资源观视角下企业生态创新实现路径研究[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2020(4):125-136.
- [27] 王婷,吴剑琳,张淑林,等.双向开放式创新如何提升新产品市场绩效——基于资源基础理论[J].大连理工大学学报(社会科学版),2020(1):47-55.
- [28] 吴松强,黄盼盼,曹新雨.企业关系资本、知识共享与企业创新能力——基于先进制造业产业技术联盟的实证研究[J].科学管理研究,2021(1):123-131.
- [29] 杨磊,侯贵生.联盟知识异质性、知识协同与企业创新绩效关系的实证研究——基于知识嵌入性视角[J].预测,2020(4):38-44.
- [30] 阴艳超,张立童,廖伟智.多维知识资源云协同的服务行为建模[J].计算机集成制造系统,2019(12):3149-3159.
- [31] 吴菲菲,米兰,黄鲁成,等.技术资源匹配视角下研发合作伙伴识别与选择[J].科技进步与对策,2017(14):23-29.
- [32] 韩东林,宣文娟.“双循环”下我国数字文化消费及其影响因素研究[J].重庆工商大学学报(社会科学版),2024(3):31-42.

- [33] 邵明晖,吴彪,张路蓬. 创新合作伙伴的 SVM-Topsis 优选决策分析[J]. 哈尔滨工程大学学报,2018(1):179-186.
- [34] 翟胜宝,聂小娟,童丽静,等. 竞争战略、企业生命周期和企业价值[J]. 系统工程理论与实践,2021(4):846-860.
- [35] 孙斌,王立杰. 基于粗糙集理论的权重确定方法研究[J]. 计算机工程与应用,2006(29):216-217.
- [36] 赵文燕,张换高,何桢. 粗数——一种客户需求分析方法[J]. 计算机集成制造系统,2011(11):2493-2501.

Selection of Innovation Partners for Traditional Manufacturing Enterprises from the Perspective of Resource Complementarity

YANG Tao^{1a, 2}, WANG Qiuyue¹, LI Yulin¹, SU Jiafu^{1b, 2}

(1a. Research Center for Enterprise Management, 1b. National Research Base of Intelligent Manufacturing Service, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;

2. School of Economics and Management, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, Sichuan, China)

Abstract: In the process of innovative development of traditional manufacturing enterprises, the increasingly fierce competition among enterprises and the limitations of internal resources make it impossible for enterprises to adapt to the rapidly developing market demand. In view of this, this paper studies a new method for selecting innovation partners of traditional manufacturing enterprises from the perspective of resource complementarity. First, a partner selection index system is established from four dimensions: knowledge resources, technological resources, market resources, and environmental resources, and a method for determining the weights of evaluation indicators based on rough sets is constructed to fully reflect the true perception of the evaluation decision-making group and improve the rationality of determining indicator weights. Second, considering the fuzziness and uncertainty of evaluation information in the selection of candidate partners, an innovation partner selection model for traditional manufacturing enterprises integrating rough numbers and the technique for order preference by similarity to ideal solution (R-TOPSIS) is constructed. By incorporating the above-mentioned indicator weight information, the rough numbers of evaluation values and rough number ideal solutions of each candidate partner are calculated to achieve the optimal selection of partners. Finally, the selection of innovation partners of a traditional manufacturing enterprise is taken as a case study object to verify the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Keywords: traditional manufacturing enterprise; innovative development; partner; resource complementarity; rough number

(责任编辑:邓龙奎)