

技术、组织和环境协调联动对能源金属产业链垂直一体化的影响研究

方文龙¹, 赖丹^{1,2*}

1. 赣南科技学院能源金属产业研究院, 江西 赣州 341000;
2. 中国科学院赣江创新研究院, 江西 赣州 341000



摘要:在“双碳”目标背景下,能源金属产业链垂直一体化是实现能源转型的重要路径。基于组态视角,构建“技术—组织—环境”(TOE)理论框架,运用必要条件分析(NCA)和模糊集定性比较分析(fsQCA)方法,系统探究了能源金属产业链垂直一体化的驱动机制。研究发现:(1)垂直一体化是多重因素协同作用的结果,技术、组织和环境因素均非单独必要条件;(2)新能源企业后向一体化呈现供应链稳定性单核驱动型和收益—供应链稳定性双核驱动型2种组态路径;(3)有色金属企业前向一体化则表现为技术—供应链协同驱动型和技术—收益—环境综合驱动型2种模式。研究揭示了不同产业链环节中企业实施垂直一体化时存在的差异化驱动逻辑,为能源金属产业链优化布局提供理论依据和实践指导。研究建议企业应根据自身资源禀赋选择适配的一体化路径,政府部门则需制定差异化的产业政策以促进产业链协同发展。

关键词:垂直一体化;有色金属;新能源;模糊集定性比较分析;必要条件分析

中图分类号:F426.1 文献标志码:A 文章编号:1005-2518(2025)05-1124-11 DOI:10.11872/j.issn.1005-2518.2025.05.041
引用格式:方文龙,赖丹.技术、组织和环境协调联动对能源金属产业链垂直一体化的影响研究[J].黄金科学技术,2025,33(5):1124-1134.FANG Wenlong, LAI Dan. Research on the Influence of the Coordinated Linkage of Technology, Organization and Environment on the Vertical Integration of the Energy Metal Industry Chain[J]. Gold Science and Technology, 2025, 33(5): 1124-1134.

在全球产业格局深刻变革与碳中和目标的双重驱动下,产业链供应链的韧性与安全已成为国家战略竞争力的核心要素(代涛等,2022;刘贻玲等,2023;罗良文等,2023)。党的二十大报告明确要求“提升产业链供应链韧性和安全水平”,这对于正处于大国零碳产业竞争关键阶段的新能源领域具有特殊意义(蓝婷婷等,2025)。能源金属作为支撑清洁能源技术的“工业血液”(赖丹等,2022),其供应链安全直接关乎国家能源转型自主权。

能源金属产业链具体可划分为5个环节:能源→

矿产品→精炼产品→材料→终端应用(方文龙等,2025)。国际能源署(International Energy Agency, 2021)统计数据显示,新能源技术高度依赖铜和铝等关键金属,其中铜在多种技术中起核心作用(汪鹏等,2021)。这种双向依赖推动了两大产业的深度融合,促使企业通过垂直一体化(新能源企业前向一体化/有色金属企业后向一体化)拓展合作边界(吴一丁等,2025)。现有研究主要从资产专用性(交易成本理论)(Coase, 1937; Klein et al, 1978; 崔世腾等, 2012; 徐斌, 2013)、制度环境(政策、市场)(Lieberman, 1991;

收稿日期:2025-01-06;修订日期:2025-05-29

基金项目:江西省智库研究项目“江西有色金属—新能源产业链纵向整合研究”(编号:25ZK15)、国家社会科学基金项目“双循环视域下我国稀土产业价值链重构与路径选择研究”(编号:23BGL218)和国家自然科学基金项目“跨公司信息效率的影响机制及经济后果”(编号:72363018)联合资助

作者简介:方文龙(1995—),男,江西崇仁人,博士,从事资源经济管理和产业经济政策研究工作。E-mail:2360999278@qq.com

*通信作者:赖丹(1977—),女,江西瑞金人,教授,博士生导师,从事产业经济政策研究工作。E-mail:laidanz@163.com

© Editorial Department of Gold Science and Technology (CC BY-NC-ND)

Acemoglu et al, 2010)和不确定性(市场波动、供应链风险)(Tornatzky et al, 1990; Fan, 2000; 袁淳等, 2022)3个维度探讨垂直一体化驱动因素。然而,针对能源金属产业链这一特定领域的研究存在明显不足,主要有3个方面:一是组合效应缺失,多聚焦单一因素“净效应”,忽视多因素(如技术专用性+政策+不确定性)协同作用;二是产业链视角薄弱,主要关注单一产业内部,缺乏对跨产业链(有色金属—新能源)垂直延伸的系统研究;三是领域特殊性鲜见,针对能源金属产业链的研究极少,且未区分前向和后向一体化的差异化驱动机制。

为突破上述研究局限,本研究构建了TOE-fsQCA-NCA三维分析框架,即从技术(T)、组织(O)和环境(E)3个维度,采用fsQCA方法识别典型组态路径,并借助NCA分析确定必要条件及一票否决因素。该框架旨在揭示能源金属产业链不同垂直一体化模式(前向/后向)的差异化复杂驱动机制。本文的边际贡献在于:一是方法创新与路径识别,基于组态视角,揭示差异化驱动路径;二是理论拓展与应用深化,将TOE框架与组态分析应用于“双碳”与地缘政治背景下的能源金属产业链;三是研究视角融合,从跨产业链整合视角,系统研究有色金属与新能源上下游环节的垂直一体化问题。

1 理论分析:TOE分析框架

TOE(技术—组织—环境)理论为分析能源金属产业链垂直一体化提供了系统框架。在当前VUCA(Volatile, Uncertain, Complex, Ambiguous)时代背景下,这3个维度的因素相互交织(毛军权等, 2023),共同影响着企业的垂直一体化决策。

(1)技术层面。技术创新对垂直一体化具有双重影响:一方面,技术溢出效应(Rothwell, 1994)通过促进知识共享、风险分担和人才流动,显著降低了产业链上下游企业间的合作壁垒,加速了一体化进程。特别是在新能源领域,技术进步带来的协同效应尤为明显。另一方面,创新的高风险性和长周期性(方文龙等, 2023)增加了企业运营成本,短期内可能挤压利润空间。加之有色金属产业(低技术密集)与新能源产业(高技术密集)在技术属性上的显著差异,这种技术鸿沟可能在一定程度上抑制企

业的垂直一体化意愿。

(2)组织层面。企业决策主要遵循成本效益原则:垂直一体化虽可通过内部化交易降低市场交易成本(Birge et al, 2022),形成规模经济优势,但同时会增加组织内部的管理协调成本,包括供应链管理复杂度的提升和系统性风险的增加。此外,控制权获取也是重要动机,根据控制权理论,企业对产业链关键环节的产权控制需求会驱动一体化投资。我国特殊的产权制度环境为考察不同所有制企业(国企/非国企)在垂直一体化决策上的差异提供了独特视角(Bradley et al, 2011)。

(3)环境层面。微观层面:企业资产专用性的增强和退出成本的提高会显著影响后续投资决策,这种“锁定效应”可能改变企业的战略选择(谭瑾等, 2025)。中观层面:供销商集中度呈现双刃剑特征,适度的集中有利于保障供应稳定,但过度集中可能导致供应链风险传染(李华姣等, 2025)。宏观层面:日益增加的政策不确定性和地缘政治风险(Rey et al, 2002),促使企业通过垂直一体化来构建更具韧性的供应链体系,以应对复杂多变的外部环境。根据以上分析,得出本文的理论模型如图1所示。

2 研究设计

2.1 研究方法

本研究采用模糊集定性比较分析(fsQCA)与必要条件分析(NCA)相结合的方法。其中,fsQCA方法基于组态视角(Miller, 1986),能够有效分析技术、组织和环境因素对能源金属产业链垂直一体化的协同影响,克服传统线性回归的局限性。该方法通过布尔运算识别前因条件的组合效应(王宛秋等, 2022)。NCA方法作为补充,可定量测度必要条件的必要程度,弥补fsQCA在必要条件分析上的不足。这2种方法的结合使用,能够全面揭示能源金属产业链前向和后向一体化的差异化驱动机制。

2.2 样本及数据来源

以2022年有色金属和新能源上市公司作为初始样本(已删除样本期间*ST、ST、退市整理期、暂停或终止上市的数据)。

首先,构建新能源产业“关键词典”。根据新能源产业3个主要来源(新能源的获取、存储和高效

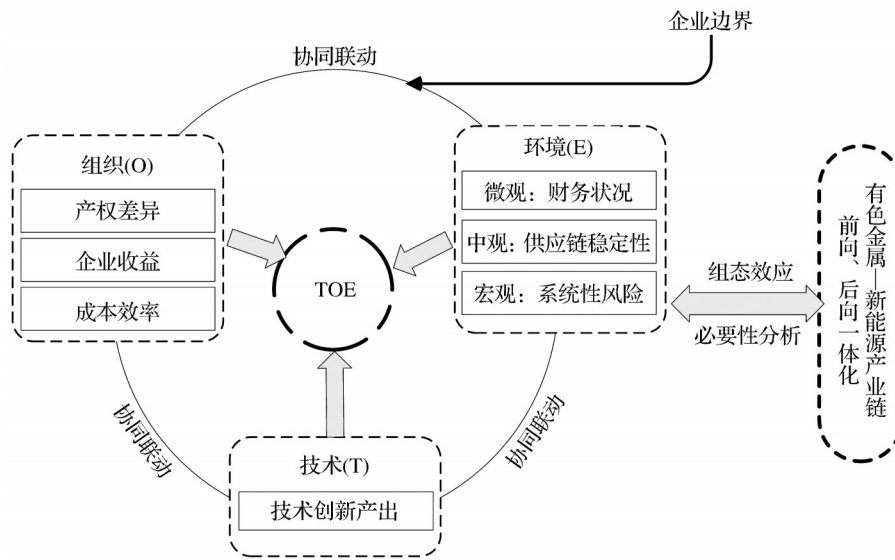


图1 基于TOE模型的分析框架图

Fig. 1 Analysis framework based on TOE model

使用)以及国务院办公厅印发的《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》，国家发展改革委、国家能源局联合印发的《关于加快推进新型储能发展的指导意见》，2018年国家统计局公布的《战略性新兴产业分类》等政策性文件，整理出新能源产业的“关键词典”如下：光伏发电、风力发电、水力发电、核电、地热、生物质能、新能源、新能源汽车、新能源电池、锂电池、太阳能电池、蓄电池、高能量动力电池、电解储氢、电网、断热材料、节能照明、高效发热材料、磁性材料、光伏材料、风光电材料、风光电器件、储能技术和充电桩等。其次，界定新能源企业范围。若公司经营范围、主营业务、主营产品名称和产品应用领域中出现“关键词典”文本，则将其定义为新能源企业。再次，确定前向和后向一体化样本。若有色金属业上市公司经营范围、主营业务、主营产品名称和产品应用领域中出现“关键词典”的文本，表明该公司实施了后向一体化；若新能源业上市公司经营范围、主营业务、主营产品名称和产品应用领域中出现有色金属文本，表明该公司实施了前向一体化。最后，经汇总得到前向一体化样本71个，后向一体化样本69个。

2.3 变量测量

(1) 结果变量

垂直一体化(Ver)。由于没有直接企业层面的垂直整合数据，本文参考 Fan(2000)的方法，运用

国家统计局公布的2017年中国投入产出矩阵和企业层面的数据构建企业层面的垂直一体化程度指标。第一，根据中国投入产出表中的相关系数，利用模型(1)取行业*i*与行业*j*投入产出系数 v_{ji} 和 v_{ij} 的最大值，确定一体化相关系数(V_{ij})。第二，当 $n \neq 1$ 时，利用模型(2)计算垂直一体化程度指标(Ver)，如果企业在行业*i*和行业*j*均涉及，则Ver取值为1，否则为0；利用企业分行业营业收入占比与纵向相关系数的加权平均值求得最终结果。当 $n=1$ 时，垂直一体化程度取值为0。

$$V_{ij} = \max(v_{ij}, v_{ji}) \quad (1)$$

$$Ver = \frac{1}{n-1} \sum_{i \in \tau} w_i \sum_{j \in k} v_{ij} \delta_{ij}, \quad (\tau = \{i | 1 \leq i \leq n\}, k = \{j | 1 \leq j \leq n, j \neq i\}) \quad (2)$$

(2) 前因变量

技术创新(Inw)。现有文献在衡量创新时主要采用创新投入和创新产出。相较于创新投入，创新产出更能直观地反映企业的创新程度，而专利是一种有效评价企业创新产出的衡量指标。根据申请类别的差异，可将专利划分为发明、实用新型和设计专利3类。因发明专利最具新颖度和技术创造性，与其他两类专利相比，发明专利的创新质量最高，技术进步最大，且发明专利从申请到授权需经过一定时间，授权专利更能直观地反映企业的创新水平。因此，本文采用企业当年授权的发明专利数加1后取自然对数衡量企业的创新水平。

产权性质(*Soe*)。借鉴现有文献的主流做法,采用虚拟变量衡量。若公司实际控制人性质为国有,则*Soe*取值为1,否则为0。

企业收益(*Roe*)。当前衡量企业收益的指标主要有净资产收益率、总资产净利润率和托宾*Q*值等。由于当前我国资本市场发展较西方而言尚不完善,采用以股价为单位的托宾*Q*值衡量企业绩效并不稳定和客观,而总资产净利润率又容易受经营杠杆的影响。因此,本文以净资产收益率衡量企业收益。

成本效率(*CE*)。本文采用加权平均资本成本衡量成本效率。加权平均资本成本不仅能够反映企业整体资本成本的水平,还能够说明企业投资扩大经营范围所需付出的机会成本,是以企业各项资本占企业总资本的比重为权重,对各项资金成本加权平均计算所得,其计算公式为

$$WACC=K_d(1-T)(D/V)+K_s(S/V) \quad (3)$$

式中: K_d 为税前债务成本; K_s 为权益资本成本; T 为企业所得税; D 为企业债权资本; S 为权益资本; V 为企业总资产, $V=D+S$ 。

财务状况(*FR*)。企业财务状况可用财务杠杆衡量。财务杠杆是指由于固定债务利息和优先股股利的存在而导致普通股每股利润变动幅度大于息税前利润变动幅度的现象,从资本结构质量、资产质量和利润质量等维度反映了企业当年的财务状况。因此,借鉴张新民等(2019)对上市公司财务状况评价的研究,采用财务杠杆衡量企业财务状况。

供应链稳定性(*SCR*)。供应链稳定是企业开展经营的前提,同时,只有当企业生产制造的商品具有稳定的交易市场时,才能确保企业可持续发展。但若供应商(客户)越集中,企业面临供应(销售)中断的风险越大。因此,参照温科等(2024)的做法,依据前五大供应商采购比与前五大客户的销售比之和衡量企业的供应链稳定性。

系统性风险(*SR*)。企业难以分散外部环境变化引起的系统性风险,借鉴Sharpe(1964)和Lintner(1965)提出的资本资产定价模型,以市场组合的贝塔系数衡量系统性风险。贝塔系数反映了资产组合相对于整体经济波动的敏感性,即证券市场波动一个百分比引起资产组合波动的百分比,印证了资产组合与系统性风险之间的联动性。

各变量具体描述性统计见表1。

表1 变量描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量	变量说明	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
<i>Ver</i>	垂直一体化	140	1.853	3.362	0.000	24.083
<i>Inv</i>	技术创新	140	2.107	2.034	0.000	6.649
<i>Soe</i>	产权性质	140	0.582	0.035	0.000	1.000
<i>Roe</i>	企业收益	140	0.143	0.221	-0.384	1.729
<i>CE</i>	成本效率	140	0.091	0.020	-0.001	0.160
<i>FR</i>	财务状况	140	0.467	0.164	0.104	0.898
<i>SCR</i>	供应链稳定性	140	0.403	0.209	0.075	0.999
<i>SR</i>	系统性风险	140	1.396	0.607	-1.678	2.661

2.4 变量的校准

数据校准是赋予案例集合隶属的过程,目前尚未有从协同视角研究能源金属产业链垂直一体化驱动因素的相关报道,缺乏明确的理论知识和实践标准指导。因此,本文借鉴现有研究,参照已有关于校准的建议及做法,依据样本案例本身的条件和数据对结果变量和条件变量进行直接校准,将前因条件和结果变量均以案例样本描述性统计的上四分位数(75%)、中位数(50%)和下四分位数(25%)作为完全隶属、交叉点和完全不隶属的校准锚点。为将所有案例纳入分析,本文遵循张明等(2019)的建议,考虑到隶属分数恰好是0.5的情况,通过对隶属分数为0.5的数据均增加0.001的方式进行调整。变量校准结果见表2。

表2 各变量校准锚点

Table 2 Calibration anchors for various variables

前因条件	模糊集校准前			模糊集校准后		
	完全隶属	交叉点	完全不隶属	完全隶属	交叉点	完全不隶属
技术创新	4.094	1.946	0.000	4.278	2.197	0.000
产权性质	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
企业收益	0.173	0.093	0.042	0.183	0.094	0.040
成本效率	0.104	0.088	0.076	0.112	0.091	0.080
财务状况	0.587	0.486	0.345	0.585	0.463	0.323
供应链稳定性	0.558	0.427	0.236	0.578	0.352	0.206
系统性风险	1.784	1.380	0.918	1.927	1.590	1.203

3 实证分析

3.1 条件变量的必要性分析

在fsQCA方法中,若导致结果发生的某单一条

件总是存在,则称该条件为结果的必要条件。通常采用一致性水平作为判断依据,若一致性指标大于0.9,则认定该条件为结果的必要条件。首先采用fsQCA方法就单个条件的必要条件进行检验,分析结果如表3所示,发现各前因条件的一致性水平均小于0.9,不构成驱动企业实施垂直一体化战略的必要条件。

3.2 NCA的必要性分析

NCA方法兼具定性分析和定量分析的双重功能,一方面能够定性识别前因条件是否为必要条件,另一方面能够定量检测前因条件在多大程度上为结果的瓶颈。具体为:一是通过散点图左上角是否存在空白区域识别;二是通过上限包络线将空白区域划分,使之与整个区域分离;三是经NCA软件计算上限区域、范围和效应量等必要参数。效应量大小计算方法为上限区域/范围,表示结果产生所需必要条件的最低水平,取值为0~1,其中,小效应为(0,0.1),中等效应为[0.1,0.3),大效应为[0.3,0.5)。采用该方法判定必要条件时需同时满足以下2个条件:一是效应量取值不小于0.1;二是蒙特卡洛仿真置换检验结果显示效应量显著,即P小于0.05,具体结果如表4所示,7个前因条件均未同时满足判定条件,与fsQCA结果一致。

NCA方法还可以进一步判定达到给定水平结

表3 条件变量的必要性分析结果

Table 3 Results of necessity analysis of conditional variables

前因条件	后向一体化		前向一体化	
	一致性	覆盖度	一致性	覆盖率
技术创新	0.485	0.476	0.621	0.593
~ 技术创新	0.644	0.575	0.490	0.445
产权性质	0.583	0.554	0.562	0.541
~ 产权性质	0.548	0.482	0.512	0.472
企业收益	0.527	0.493	0.499	0.449
~ 企业收益	0.552	0.518	0.581	0.561
成本效率	0.568	0.525	0.578	0.547
~ 成本效率	0.520	0.493	0.517	0.473
财务状况	0.545	0.486	0.514	0.486
~ 财务状况	0.567	0.559	0.607	0.557
供应链稳定性	0.510	0.473	0.567	0.552
~ 供应链稳定性	0.583	0.552	0.560	0.500
系统性风险	0.581	0.550	0.590	0.524
~ 系统性风险	0.520	0.482	0.519	0.508

注:~表示逻辑运算的非

果所需的条件必要水平,即瓶颈水平分析。因本文前因变量除产权性质外均为连续变量,故采用上限回归分析(CR)。结果显示,要达到90%的后向一体化,需要62.73%的技术创新、56.18%的企业收益、26.15%的成本效率、64.29%的供应链稳定性以及53.26%的系统性风险(表5)。前向一体化计算

表4 NCA方法必要性分析结果

Table 4 Results of necessity analysis of NCA method

前因条件	方法	精确度/%	上限区域(C)	范围(S)	效应量(D)	P值
技术创新	CR	84.520	0.135	0.990	0.074	0.463
	CE	91.230	0.056	0.990	0.056	0.389
产权性质	CR	100.000	0.005	0.990	0.062	0.081
	CE	100.000	0.008	0.990	0.079	0.073
企业收益	CR	100.000	0.002	0.990	0.016	0.031
	CE	100.000	0.008	0.990	0.011	0.046
成本效率	CR	100.000	0.000	1.000	0.032	0.089
	CE	100.000	0.000	1.000	0.025	0.083
财务状况	CR	87.300	0.047	0.990	0.153	0.146
	CE	95.000	0.068	0.990	0.145	0.132
供应链稳定性	CR	100.000	0.156	1.000	0.053	0.083
	CE	100.000	0.203	1.000	0.083	0.076
系统性风险	CR	100.000	0.085	1.000	0.128	0.096
	CE	100.000	0.073	1.000	0.139	0.085

注:CR和CE分别表示上限回归和上限包络,前者适用连续变量,后者适用5个类别以下的变量;P值采用NCA分析中的置换检验

结果与fsQCA结果一致,即要达到90%的前向一体化,需要86.57%的技术效率、71.63%的企业收益、64.25%的成本效率、69.52%的供应链稳定性以及72.16%的系统性风险,具体结果未列示。

3.3 组态分析

在QCA方法中,揭示引致结果发生的多重因素构成的可能组态的过程称为条件组态的充分性分析,通常采用一致性阈值对结果进行判别。具体条件方面,将能源金属产业链垂直一体化组态分析结果的原始一致性阈值设为0.8, PRI一致性阈值为0.7,频数阈值设为1,最终结果见表6。

(1)后向一体化组态

由表6可知,存在2条驱动后向一体化组态,总体解的一致性水平为0.914,且2条组态一致性均大于阈值(0.8),总体覆盖率为0.201,说明可以解释20.1%的新能源后向一体化案例。根据Furnari et al(2021)关于组态命名的建议,即满足“命名简洁、把握整体、兼顾个体”3个层面,结合本文理论和典型案例,将技术创新、企业收益和供应链稳定性作为组态命名兼顾整体性和独特性的“锚”对2条组态进行命名。H1:供应链稳定性单核驱动型(核心条件:供应链稳定性,无辅助条件)。命名依据:该路径中仅供应链稳定性作为核心条件单独发挥作用,体现了供应链稳定性在缺乏其他条件支持时仍能独立驱动后向一体化的特征。H2:收益—供应链稳定性双核驱动型(核心条件:供应链稳定性+

企业收益)。命名依据:该路径中供应链稳定性与企业收益共同作为核心条件,反映了在收益动机强化下供应链稳定性驱动的协同效应。

对于供应链稳定性单核驱动型组态,研究结果表明,供应链稳定性是新能源企业实施后向一体化战略的核心驱动因素(解释力14.9%,其中独特解释力11.9%)。该组态特征表现为:供应链稳定性作为核心条件存在,而技术创新和企业收益等其他因素均未形成显著影响。以晶科能源为例,其供应链管理策略具有典型代表性。在上游原料保障方面,与通威股份和新特能源等头部企业签订长期采购协议,通过战略参股方式锁定关键硅料供应,建立合理的安全库存机制。在辅材供应管理方面,实施动态招投标制度保持供应商竞争,与福莱特签订3年59GW光伏玻璃长单,建立多元化的供应商体系。在全球产能布局方面,在中国8个省份及海外3个国家建立14个生产基地,在海外形成“硅片—电池—组件”完整产业链,实现区域市场的本地化供应。这种以供应链稳定性为核心的一体化模式,使企业能够有效应对原材料价格波动风险,保障生产连续性,增强对不同区域市场的快速响应能力。研究显示,在新能源行业原料供应不稳定的背景下,该模式对保障企业稳定运营具有显著效果。

对于收益—供应链稳定性双核驱动型组态,技术、组织、环境层面的技术创新、企业收益、供应链稳定性和系统性风险作为核心条件存在,互补以环

表5 NCA方法瓶颈水平分析结果

Table 5 Analysis results of bottleneck level of NCA method (%)

后向一体化	技术创新	产权性质	企业收益	成本效率	财务状况	供应链稳定性	系统性风险
0	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
10	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
20	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
30	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
40	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
50	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
60	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
70	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
80	41.180	NN	23.180	NN	NN	35.820	NN
90	62.730	NN	56.180	26.150	NN	64.290	53.260
100	81.650	47.560	79.560	48.230	53.410	88.430	75.520

注:“NN”表示不必要

表6 条件组态充分性分析结果
Table 6 Results of adequacy analysis of conditional configuration

前因条件	后向一体化		前向一体化	
	H1	H2	H3	H4
技术创新	⊗	●	●	●
产权性质		..		⊗
企业收益	⊗	●	⊗	●
成本效率	⊗	●
财务风险	⊗	⊗	⊗	⊗
供应链风险	●	●	●	■
系统性风险		●	..	●
一致性	0.936	0.894	0.850	0.848
原始覆盖率	0.149	0.071	0.122	0.150
唯一覆盖率	0.119	0.040	0.040	0.101
总体一致性	0.914		0.840	
总体覆盖率	0.201		0.352	

注:●代表核心条件存在,⊗代表核心条件缺失,■代表边缘条件存在,·代表边缘条件缺失,“空格”表示该条件可存在或不存在;其中,核心条件为同时存在于简约解和中间解中的条件;边缘条件为仅存在于中间解中的条件

境层面的、作为边缘条件缺失的财务状况。该组态结果表明,在面对外部系统性风险的强力冲击时,新能源企业后向一体化往有色金属领域布局,可以提高对有色金属原料的自给率,保障供应链稳定,实现降本增利,该组态能够解释7.1%的新能源后向一体化案例,其中仅能够被该组态解释的案例约为4%,典型案例为比亚迪。

2022年,受芯片结构性短缺和电池级碳酸锂价格居高不下等系统性风险的影响,新能源汽车生产成本大幅上涨,汽车销售需求受到压制,对国内新能源汽车龙头企业和动力电池第二大生产商——比亚迪的影响最大。但因比亚迪早在2010年就开始后向一体化布局,如2010年投资了西藏矿业控股子公司西藏扎布耶锂业,2016年成立青海盐湖比亚迪资源开发有限公司,2022年通过投资盛新锂能等方式积极参股多家上游有色金属企业,以保障原材料的稳定供应。从营收可知,2022年比亚迪实现营收4 240.6亿元,较2021年翻了一番,是国内动力电池第一大生产商——宁德时代的1.3倍,可见即使在面对碳酸锂价格高涨的冲击下,依旧能获得较高的营收。此外,企业本身的获利能力也较强,在

样本中排名前40%。因此,较高的获利能力叠加稳定的供应保障可以驱使新能源企业后向一体化往有色金属端布局。

(2)前向一体化组态

由表6可知,存在2条驱动前向一体化组态,总体解的一致性水平为0.840,且2条组态一致性均大于阈值(0.8),总体覆盖率为0.352,说明可以解释35.2%的有色金属企业前向一体化案例。根据后向一体化的命名思路对2条组态进行命名。H3:技术—供应链协同驱动型(核心条件:技术创新+供应链稳定性)。命名依据:该路径中技术创新与供应链稳定性形成协同效应,体现了技术优势与供应链保障的双重驱动特征。H4:技术—收益—环境综合驱动型(核心条件:技术创新+企业收益+政策环境)。命名依据:该路径整合了技术创新、经济效益和政策环境三大要素,反映了多维度因素的综合驱动机制。

对于技术—供应链协同驱动型组态,其核心存在条件源于技术、环境层面的技术创新和供应链稳定性,而组织与环境层面的企业收益、成本效率和财务状况作为核心缺失条件。实证表明,该组态覆盖了12.2%的案例,并对其中4%的案例具有独占性解释力。典型案例融捷股份的路径印证了这一点:它主要依靠强大的供应链保障和技术突破作为双轮驱动,以此完成向新能源终端的产业链延伸并提高附加值。

该公司于2009年通过收购融达锂业51%股权进入锂矿采选行业,2018年开始生产销售锂电正极材料,2023年新设融捷电源,从事动力电池的研发、生产与销售,实现了从有色金属矿采选到新能源设备研发生产销售的前向一体化整合。随着“双碳”目标下新能源汽车需求的爆发,可持续、稳定的锂资源(锂盐)供应是锂电材料厂、电池厂和汽车厂的核心竞争力之一。2022年公司前5名供应商的年度采购额占比达54.55%,其中一家关联方供应商的年度采购额占年度总采购额的9.86%,排第三名,前5名中的其他供应商与公司不存在关联关系,说明公司供应链较为集中。此外,公司目前已形成105万吨/年的露天开采产能和45万吨/年矿石处理的选矿生产能力,为国内在产产能最大锂辉石矿企业,具有强大的资源供应保障。在技术创新层

面,公司在锂盐和锂电设备业务研发方面持续投入,形成全国首创的移动仓储式烘烤生产线,目前已积累形成31件发明专利。

对于技术—收益—环境综合驱动型组态,技术、环境层面的技术创新、企业收益、成本效率和系统性风险作为核心条件存在,互补以环境层面的供应链稳定性作为辅助条件存在,以及组织、环境层面的产权性质和财务状况作为核心条件缺失。该组态存在的条件较多,且多为核心要素,表明该部分有色金属企业往新能源领域延伸时受技术、组织和环境的协同驱动。当有色金属企业拥有高技术整合能力,依托自身的供应链优势,在降成本、提绩效的同时,还能够抵御外部风险压力向新能源终端应用领域延伸,提高附加值。该组态能够解释15%的有色金属前向一体化案例,其中仅能被该组态解释的案例约为10.1%,典型案例为北方稀土集团。

国内稀土行业经过多年的治理,已逐步形成以大集团为主体,原料相对集中的供应格局。北方稀土集团已成为全球最大的稀土产品供应商,2023年其稀土开采和冶炼分离指标占国内总指标的69%,储量占世界总储量的38%,在原料供给端具有绝对供应链保障优势。在技术层面,北方稀土集团拥有全球最大稀土专业研究院所——包头稀土研究院,在稀土磁材、储氢、抛光、发光、催化和合金等领域不断加大研发投入,破解卡脖子技术瓶颈。依托在全球拥有的供应链和技术优势,提出打造包括“稀土永磁—永磁电机—工业机器人、储氢材料—动力电池”在内的往新能源领域延伸的2条产业链,目前已实现稀土上中下游一体化发展,构筑了行业领先的全产业链竞争优势,2022年实现营收372.6亿元,是中国稀土集团的近10倍。

3.4 稳健性检验

已有关于fsQCA稳健性的检验方法,主要包括调整一致性阈值、调整频数阈值、提高PRI一致性和增减案例等方式。通过提高PRI一致性和一致性阈值的方式进行稳健性检验(Schneider et al, 2012)。具体如下:将PRI一致性由7.0提高至7.4,保持其他处理方式不变;将一致性阈值由8.0提高至8.2,保持其他处理方式不变。稳健性检验结果见表7。由表7可知,2种稳健性检验下产生的结果与原结果基本保持一致。

表7 条件组态的稳健性检验结果

Table 7 Results of robustness test of conditional configuration

前因条件	后向一体化		前向一体化	
	H1	H2	H3	H4
技术创新	⊗	●	●	●
产权性质		..		⊗
企业收益	⊗	●	⊗	●
成本效率	⊗	●
财务风险	⊗	⊗	⊗	⊗
供应链风险	●	●	●	■
系统性风险		●	..	●
一致性	0.930	0.864	0.841	0.923
原始覆盖率	0.254	0.142	0.173	0.156
唯一覆盖率	0.041	0.043	0.074	0.057
总体一致性	0.913		0.845	
总体覆盖率	0.472		0.376	

注:●代表核心条件存在;⊗代表核心条件缺失;■代表边缘条件存在;“·”代表边缘条件缺失;“空格”表示该条件可存在或不存在。其中,核心条件为同时存在于简约解和中间解中的条件;边缘条件为仅存在于中间解中的条件

4 结论与建议

4.1 研究结论

基于TOE框架,以2022年能源金属产业链实施垂直一体化的140家企业为样本,采用必要条件分析(NCA)和模糊集定性比较分析法(fsQCA),探究了技术、组织和环境3个层面的前因条件对能源金属产业链前向和后向一体化的综合作用机制,发现了能源金属产业链垂直一体化驱动因素的多种组态。

(1)能源金属产业链垂直一体化是多种前因条件协同作用的结果,技术、组织和环境因素均不是单独引致垂直一体化的必要条件,即单个条件不构成前向一体化或后向一体化的瓶颈。

(2)存在两类推动新能源企业后向一体化的组态,即供应链稳定性单核驱动型和收益—供应链稳定性双核驱动型,能否获取稳定的原料供应来源是新能源企业后向一体化的主要驱动因素。存在两类推动有色金属企业前向一体化的组态,即技术—供应链协同驱动型和技术—收益—环境综合驱动型,技术创新在2条路径中均属核心条件,对有色金属企业前向一体化起关键作用。

(3) 新能源企业后向一体化和有色金属前向一体化的具体驱动组态不同,具有“殊途不同效”的特点,但不同组态均由多个前因条件构成,即“多重并发”,共同驱动能源金属产业链垂直一体化,达到“殊途同归”之效。

4.2 对策建议

基于研究结论,本文分别从企业和政府2个层面提出针对性建议。

(1) 企业层面。第一,选择差异化一体化路径。对于有色金属企业(前向一体化),建议依托有色金属资源优势,重点发展“有色金属资源—功能材料—元器件”产业链,通过技术研发投入提升材料性能,同时建立原料储备机制应对价格波动。对于新能源企业(后向一体化),建议构建资源安全保障体系,通过建立多元化供应网络、强化产业链协同创新、构建数字化供应链平台、完善循环利用体系、培育专业化人才队伍和创新金融支持模式等深度参与锂、钴、镍等能源金属的上游资源开发。第二,要素协同发展建议。一是建立技术—供应链双轮驱动机制:建议企业设立专项研发基金用于关键材料研发,同时建设数字化供应链管理系统。二是构建风险对冲体系:推荐采用“长协采购+期货套保”模式,有效平抑原料价格波动风险。

(2) 政府层面。第一,区域产业政策优化。对于资源型省份(如内蒙古、江西),建议出台《能源金属产业一体化发展条例》,设立省级产业引导基金,重点支持“稀土永磁—风电电机”等特色产业链建设。对于制造型省份(如江苏、广东),推荐实施“链主企业培育计划”,对垂直一体化项目给予土地出让金减免、设备投资补贴和研发费用加计扣除等政策支持。第二,全国性制度保障。一是建议建立关键矿产储备制度,建议参照石油储备模式,设置锂、钴和关键稀土元素等品种的战略储备;二是完善行业标准体系,加快制定《能源金属产业链一体化评价指南》等国家标准。

参考文献(References):

Acemoglu D, Griffith R, Aghion P, et al, 2010. Vertical integration and technology: theory and evidence[J]. *Journal of the European Economic Association*, 8(5): 989-1033.
Birge J R, Capponi A, Chen P C, 2022. Disruption and rerouting

in supply chain networks[J]. *Operations Research*, 71(2): 750-767.
Bradley S W, Shepherd D A, Wiklund J, 2011. The importance of slack for new organizations facing ‘tough’ environments[J]. *Journal of Management Studies*, 48(5): 1071-1097.
Coase R H, 1937. The nature of the firm [J]. *Economica*, 4(16): 386.
Fan J P H, 2000. Price uncertainty and vertical integration: an examination of petrochemical firms[J]. *Journal of Corporate Finance*, 6(4): 345-376.
Furnari S, Crilly D, Misangyi V F, et al, 2021. Capturing causal complexity: heuristics for configurational theorizing [J]. *Academy of Management Review*, 46(4): 778-799.
International Energy Agency, 2021. Clean Energy progress after the Cov-id-19 crisis will need reliable supplies of critical minerals[R]. Paris: International Energy Agency.
Klein B, Crawford R G, Alchian A A, 1978. Vertical integration, appropriable rents, and the competitive contracting process [J]. *The Journal of Law and Economics*, 21(2): 297-326.
Lieberman M B, 1991. Determinants of vertical integration: an empirical test [J]. *The Journal of Industrial Economics*, 39(5): 451.
Lintner J, 1965. The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets [J]. *The Review of Economics and Statistics*, 47(1): 13.
Miller D, 1986. Configurations of strategy and structure: towards a synthesis [J]. *Strategic Management Journal*, 7(3): 233-249.
Rey P, Seabright P, Tirole J, 2002. The activities of a monopoly firm in adjacent competitive markets: economic consequences and implications for competition policy[R]. *Midi-Pyrenees*: University of Toulouse.
Rothwell R, 1994. Issues in user-producer relations in the innovation process: the role of government [J]. *International Journal of Technology Management*, 9(5/6/7): 629-649.
Schneider C Q, Wagemann C, 2012. Set-theoretic methods for the social sciences [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
Sharpe W F, 1964. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk [J]. *The Journal of Finance*, 19(3): 425-442.
Tornatzky L G, Fleischer M, 1990. The processes of technological innovation [M]. Lexington, MA: Lexington Books.
崔世腾, 张东风, 2012. 论资产专用性与纵向一体化[J]. *经济*

- 与管理, 26(2): 39-41. Cui Shiteng, Zhang Dongfeng, 2012. On the asset specificity and vertical integration [J]. *Economy and Management*, 26(2): 39-41.
- 代涛, 高天明, 文博杰, 2022. 元素视角下的中国稀土供需格局及平衡利用策略[J]. *中国科学院院刊*, 37(11): 1586-1594. Dai Tao, Gao Tianming, Wen Bojie, 2022. China's rare earth supply and demand pattern and balanced utilization strategy from perspective of elements [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 37(11): 1586-1594.
- 方文龙, 赖丹, 李彦蓉, 等, 2025. 基于四阶段DEA模型的有色金属—新能源产业链现代化测度及影响因素研究[J]. *矿冶工程*, 45(1): 179-187. Fang Wenlong, Lai Dan, Li Yanrong, et al, 2025. Measure and influencing factors for modernization of non-ferrous metal-new energy industrial chain based on four-stage DEA model [J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 45(1): 179-187.
- 方文龙, 聂婉妮, 赖丹, 2023. 企业数字化转型、资源配置与绿色创新能力[J]. *财会月刊*, (13): 139-145. Fang Wenlong, Nie Wann, Lai Dan, 2023. Digital transformation, resource allocation and green innovation ability of enterprises [J]. *Finance and Accounting Monthly*, (13): 139-145.
- 赖丹, 方文龙, 吴一丁, 等, 2022. 美日欧重构稀土供应链战略对中国稀土产业的影响[J]. *科技导报*, 40(21): 88-99. Lai Dan, Fang Wenlong, Wu Yiding, et al, 2022. The impact of U S, Japan and Europe's strategy of reconstructing rare earth supply chain on China's counterpart [J]. *Science & Technology Review*, 40(21): 88-99.
- 蓝婷婷, 邵留国, 2025. 中国清洁能源金属产业链供应链韧性评估[J]. *资源科学*, 47(4): 891-906. Lan Tingting, Shao Liuguo, 2025. Resilience evaluation of industry and supply chains of clean energy metals in China [J]. *Resources Science*, 47(4): 891-906.
- 李华姣, 李政, 郑欣欣, 等, 2025. 全球高技术矿产产业链供应链重构研究[J]. *资源科学*, 47(7): 1393-1402. Li Huajiao, Li Zheng, Zheng Xinxin, et al, 2025. Research on the reconstruction of global high-tech mineral industry chain and supply chain [J]. *Resources Science*, 47(7): 1393-1402.
- 刘贻玲, 钟一霞, 2023. 物质流视角下稀土企业全产业链发展仿真研究[J]. *黄金科学技术*, 31(5): 835-844. Liu Yiling, Zhong Yixia, 2023. Simulation study on development of the whole industrial chain of rare earth enterprises from the perspective of material flow [J]. *Gold Science and Technology*, 31(5): 835-844.
- 罗良文, 马艳芹, 2023. “双碳”目标下产业链韧性提升的机理、挑战及路径[J]. *现代经济探讨*, (6): 85-96. Luo Liangwen, Ma Yanqin, 2023. Mechanism, challenge and path of industrial chain resilience improvement under the “double carbon” goal [J]. *Modern Economic Research*, (6): 85-96.
- 毛军权, 敦帅, 2023. “专精特新”中小企业高质量发展的驱动路径: 基于TOE框架的定性比较分析[J]. *复旦学报(社会科学版)*, 65(1): 150-160. Mao Junquan, Dun Shuai, 2023. Research on the driving path of high-quality development of the “new, distinctive, specialized and sophisticated” SMEs: qualitative comparative analysis based on TOE framework [J]. *Fudan Journal (Social Sciences Edition)*, 65(1): 150-160.
- 谭瑾, 徐光伟, 权小锋, 2025. 环境规制战略引领与企业跨地区投资[J]. *外国经济与管理*, 47(6): 135-152. Tan Jin, Xu Guangwei, Quan Xiaofeng, 2025. Strategic guidance of environmental regulation and cross-regional investment of enterprises [J]. *Foreign Economics and Management*, 47(6): 135-152.
- 汪鹏, 王翹楚, 韩茹茹, 等, 2021. 全球关键金属-低碳能源关联研究综述及其启示[J]. *资源科学*, 43(4): 669-681. Wang Peng, Wang Qiaochu, Han Ruru, et al, 2021. Nexus between low-carbon energy and critical metals: literature review and implications [J]. *Resources Science*, 43(4): 669-681.
- 王宛秋, 王雪晴, 刘晓燕, 等, 2022. 基于TOE框架的企业跨界技术并购绩效的提升策略研究: 一项模糊集的定性比较分析[J]. *南开管理评论*, 25(2): 136-148. Wang Wanqiu, Wang Xueqing, Liu Xiaoyan, et al, 2022. A TOE framework based research of boundary-spanning technology M&A performance: the fuzzy-set qualitative comparative analysis [J]. *Nankai Business Review*, 25(2): 136-148.
- 温科, 李常洪, 2024. 数字化转型、供应链集中度与供应商创新[J]. *统计与信息论坛*, 39(3): 107-128. Wen Ke, Li Changhong, 2024. Digital transformation, supply chain concentration and supplier innovation [J]. *Journal of Statistics and Information*, 39(3): 107-128.
- 吴一丁, 郭启明, 赖丹, 等, 2025. 有色金属-新能源产业链企业垂直一体化对其竞争力的影响研究[J]. *工业技术经济*, 44(2): 119-128. Wu Yiding, Guo Qiming, Lai Dan, et al, 2025. Research on the impact of vertical integration of nonferrous metal-new energy industry chain enterprises on their competitiveness [J]. *Journal of Industrial Technology and Economy*, 44(2): 119-128.
- 徐斌, 2013. 不完全契约、专用性投资与纵向一体化[J]. *经济经纬*, 30(1): 67-71. Xu Bin, 2013. Incomplete contract, specific investment and vertical integration [J]. *Economic*

- Survey, 30(1):67-71.
- 袁淳, 耿春晓, 孙健, 等, 2022. 不确定性冲击下纵向一体化与企业价值: 来自新冠疫情的自然实验证据[J]. 经济学(季刊), 22(2): 633-652. Yuan Chun, Geng Chunxiao, Sun Jian, et al, 2022. Vertical integration and corporate value under the uncertainty shock: natural experiment evidence from the COVID-19 pandemic [J]. China Economic Quarterly, 22(2): 633-652.
- 张明, 杜运周, 2019. 组织与管理研究中QCA方法的应用: 定位、策略和方向[J]. 管理学报, 16(9): 1312-1323. Zhang Ming, Du Yunzhou, 2019. Qualitative comparative analysis (QCA) in management and organization research: position, tactics, and directions [J]. Chinese Journal of Management, 16(9): 1312-1323.
- 张新民, 钱爱民, 陈德球, 2019. 上市公司财务状况质量: 理论框架与评价体系[J]. 管理世界, 35(7): 152-166, 204. Zhang Xinmin, Qian Aimin, Chen Deqiu, 2019. Quality of financial statement of listed companies: theoretical framework and evaluation system [J]. Management World, 35(7): 152-166, 204.

Research on the Influence of the Coordinated Linkage of Technology, Organization and Environment on the Vertical Integration of the Energy Metal Industry Chain

FANG Wenlong¹, LAI Dan^{1,2}

1. Energy Metal Industry Research Institute of Gannan University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China;

2. Ganjiang Innovation Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Ganzhou 341000, Jiangxi, China

Abstract: In the context of the “dual carbon” objective, the vertical integration of the energy metal industry chain has emerged as a crucial strategy for facilitating energy transformation. This study adopts a configurational perspective, employing the “Technology-Organization-Environment” (TOE) theoretical framework, alongside necessary condition analysis (NCA) and fuzzy set qualitative comparative analysis (fsQCA) methods, to systematically investigate the driving mechanisms behind vertical integration within the energy metal industry chain. The research findings indicate that: (1) Vertical integration results from the synergistic interaction of multiple factors, with technical, organizational, and environmental factors not being individually necessary conditions; (2) The backward integration of new energy enterprises follows two configuration paths: a single core-driven supply chain stability and a dual core-driven revenue supply chain stability; (3) The forward integration of non-ferrous metal enterprises is characterized by two modes: technology supply chain synergy-driven and technology-revenue-environment comprehensive driven approaches. The study reveals the distinct driving mechanisms of vertical integration employed by enterprises at various stages of the industry chain, offering both a theoretical foundation and practical insights for optimizing the configuration of the energy metal industry chain. The research indicates that enterprises should select an integration strategy aligned with their specific resource endowments, while governmental bodies should develop tailored industrial policies to facilitate the coordinated development of the industry chain.

Key words: vertical integration; nonferrous metal; new energy; fuzzy set qualitative comparative analysis; necessary condition analysis