

基于 ISM-MICMAC 模型的制造业绿色发展与 能源管理协同优化机制研究^{*} ——以河南省为例

董 君

(河南工学院 管理学院, 河南 新乡 453003)

摘要:绿色发展是智能制造的本质要求,如何在举国体制新型能源体系建设背景下加快制造业绿色转型发展进度成为当前学者们研究的热点。通过对河南省多家制造企业实地调研,搜集相关信息资料,利用 Nvivo 软件对原始资料整合编码,筛选出关键核心影响要素,构建 ISM-MICMAC 模型,分析关键因素的驱动力和依赖性。研究表明,国际合作和相关政策引领是制造业绿色发展与能源管理协同优化最根本的影响因素,对其他因素有一定的牵制和指引作用,其他相关因素具有联动或传递作用。最后,基于 ISM 和 MICMAC 模型理论分析结果,提出相应的决策建议,完善制造业绿色发展与能源管理协同优化机制,助力制造业高质量发展。

关键词:ISM-MICMAC 模型;制造业;绿色发展;能源管理;协同

中图分类号:F424

文献标识码:A

文章编号:2096-7772(2023)06-0042-06

0 引言

因制造业是二氧化碳排放的主要来源之一,所以在制造业上做到节能减排,发展可持续制造势在必行^[1]。在全球气候合作等相关政策的引领下,国内外学者对制造业绿色转型发展问题展开了广泛的研究,主要集中在以下几个方面:(1)产业结构转型:杨岚等^[2]从产业结构绿色转型和企业技术升级双视角对制造业绿色转型问题进行了探讨;万攀兵等^[3]从技术改造视角考察了环境技术标准影响制造业兼顾减排和绿色发展的微观机理,构建了双重差分模型并进行了理论分析的验证;张峰等^[4]利用面板数据计量模型研究了技术进步、资源禀赋对制造业绿色转型的驱动效果,并从全国层面与主要经济圈两个维度进行了综合对比分析。(2)环境规制:孙海波等^[5]深入剖析了环境规制、清洁技术创新与工业企业绿色转型之间的关系,并利用面板门槛回归模型和交互型模型展开了实证研究;雷玉桃等^[6]首先阐述了环境规制对制造业绿色转型产生的直接和间接

影响,在此基础上利用 EBM-GML 模型对绿色全要素生产率进行了计算,并用以衡量制造企业绿色转型程度;侯建等^[7]利用 Super-SBM 及动态面板门槛模型对制造业绿色转型异质性结构展开了详细分析;Gong 等^[8]通过研究验证了环境规制和制造业绿色转型之间的显著倒 U 型曲线关系。(3)工艺规划:耿凯峰等^[9]对可重入混合流水车间工序规划问题展开了研究,同时考虑了工序跳跃以及绿色制造约束;Gong 等^[10]提出了同时考虑机器和工人柔性的双柔性车间调度问题,并通过设计混合进化算法对问题求解,以提高能源利用效率,助力制造企业绿色转型;Afsar 等^[11]对车间绿色工艺调度问题展开了研究,并考虑了不确定加工时间,实现最小化机器能耗和制造周期指标。

国家《“十四五”可再生能源发展规划》指出,要优化发展方式,大规模开发可再生能源,促进存储消纳,高比例利用可再生能源。目前很多企业运用微电网技术^[12]实现了可再生能源和现有电网之间的转换,企业可根据实际情况决定何时使用可再生电

^{*} 收稿日期:2023-10-15

作者简介:董君(1985—),女,河南焦作人,博士,讲师,主要从事智能制造、能源管理研究。

基金项目:河南省软科学研究计划项目(232400411101);河南工学院博士科研启动项目(KQ2106)

源或普通电网。颜湘武等^[13]针对微电网的多种能源管理问题展开了研究;张卫国等^[14]在微电网研究基础上,关注居民生活中电动车充电的应用场景,从经济性和稳定性角度出发,探讨了多源供电优化和能量调度策略;崔维伟等^[15]考虑生产车间复杂的约束条件,展开了多源供电模式在车间生产中的初步研究,构建了不同的订单任务和能源集成调度模型,并通过系统仿真获得协同优化供电方案,最终实现企业生产能耗量最低和成本最小的目标。

综上所述,制造业绿色发展与能源管理协同优化(Collaborative optimization of green development and energy management in manufacturing industry, COGDEM)是一个复杂的系统问题。2000—2019年期间,河南省制造业能源消耗总量约12,000万吨标准煤,约占能源消耗总量的近55%,制造业废气排放量约占全省废气排放量的40%。虽然目前河南省制造业绿色转型初见成效,但仍然存在转型方式单一、转型水平较低等问题;传统能源绿色转型方面,非化石能源消费占比偏低、偏煤的能源消费结构加大了节能减排的压力。本文从河南省30家制造业访谈资料和相关学者文献成果研究入手,基于扎根理论展开COGDEM问题的Nvivo质性分析,利用系统动力学理论建立解释结构模型(Interpretative structural modelling, ISM),将复杂

系统进行子系统分解,再利用实践经验和知识以及计算机软件等形成多级递接结构模型;同时采用交叉影响矩阵相乘模型(Matriced impacts corises-multiplication appliance classment modelling, MICMAC)对影响因素开展驱动力和依赖性分析。

1 影响因素分析

在扎根理论的基础上,本文利用Nvivo12软件对河南省30家制造企业和20篇“制造业绿色转型发展”相关的文献原始资料进行整合编码,采用2007年Strauss和Corbin^[16]提出的开放式、主轴式、选择式三级编码方法,提取制造业绿色发展与能源计划耦合优化机制的影响因素。

1.1 开放式编码

对本文研究中选取的多案例进行初步概念化和逐句贴标签,并进行整理和归纳,获得160个标签和110个初步概念。在此基础上进行凝练和挖掘,最终挖掘出100个概念和49个范畴。49个范畴详见表1。

1.2 主轴和选择式编码

在开放式编码的基础上,进行各个因素逻辑关系的梳理、分析和归纳,得出15个主范畴,结果如表1所示。

表1 主范畴编码

主范畴编码	主范畴	范畴
Z1	国际合作	气候合作、共享经济
Z2	制造业发展现状	缺乏关键核心技术、自主创新能力薄弱、高耗能、大而不强
Z3	能源发展现状	非化石能源消费占比偏低、清洁能源生产与消费比重增长较快、技术创新能力不足、研发创新资金不足、能源消费量大于生产量
Z4	政策引领	政策引领、政府发展规划、政府体制、政府扶持力度、环境规制
Z5	制造企业转型发展规划	智能制造、高质量发展、绿色制造、共享制造
Z6	能源结构发展规划	绿色转型、非化石能源规模化发展、创新体制机制、能源高效利用、外电引入
Z7	能源结构优化升级	能源结构占比调整、能源结构低碳转型
Z8	制造业绿色发展	多源供电方式、节能减排设备、节能减排工艺
Z9	转型意愿	转型风险成本
Z10	转型风险和收益	成果转化、收益价值、口碑价值、合作价值
Z11	协同优化发展需求	全球竞争、转型发展、社会绿色消费理念
Z12	协同优化保障条件	政府支持、信息共享和交流
Z13	协同优化基础条件	技术攻关、人才保障、融资能力、创新能力
Z14	资源协同共享意识	协作共赢理念
Z15	产业协同优化体制	制定协同优化策略、提高供应链韧性、提高协同优化能力、构建生态发展体系

1.3 饱和度检验

为了验证所构建扎根模型的饱和度^[17],对另外5家河南省制造企业和另外10篇相关文献原始资料进行收集和整理,均未产生新的研究范畴和逻辑

关系。因此可以判断出本文所提炼的制造业绿色发展与能源计划耦合优化机制的影响因素在理论上是饱和的。

2 ISM-MICMAC 模型研究

2.1 ISM 模型分析

根据 Nvivo12 软件提取的关键因素,进行逻辑关系的梳理,利用 SPSSAU 软件构建 15 * 15 的邻接矩阵 A^[18]。根据 $(A + I)^{n-1} \neq (A + I)^n = (A + I)^{n+1} = M$ 原理,利用 Matlab 软件计算出可达矩阵 M,如表 2 所示。在获得的可达矩阵基础上,进行可达集 R、先行集 Q 和共同集 S 的整理和归并,并进行影响因素级位划分,结果分别如表 3 和图 1 所示。

由图 1 可知,本文构建的制造业绿色发展与能源计划耦合优化 ISM 模型共分为 6 个层次,两两组合,依次概括为表象层、中间层和根本层。表象层由模型中的的第一和第二层构成。第一层的影响因素

为能源结构优化升级、制造业绿色发展和产业协同优化体制,他们是制造业绿色发展与能源计划耦合优化的成果展现,并受到第二层相关因素,即转型风险和收益、协同优化保障条件、协同优化基础条件、资源协同共享意识的影响。政府部门需要为制造企业和综合能源运营企业提供智力和技术支撑,以降低他们的转型风险,提高转型收益,激发转型动力;同时需要加大宣传力度,培养民众绿色消费习惯,构建和谐发展的生态圈。金融机构应加大融资力度和规模,助力制造业绿色转型和能源结构优化升级。制造企业和综合能源运营企业则需要树立协作共赢的理念,加强区域合作和资源共享,实现信息交流,提升创新能力。

表 2 可达矩阵

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	驱动力
Z1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
Z2	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Z3	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Z4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
Z5	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Z6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Z7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Z8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Z9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Z10	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	4
Z11	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Z12	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	4
Z13	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	4
Z14	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	4
Z15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
依赖性	2	3	3	2	4	5	13	13	8	9	8	9	9	9	13	110

表 3 可达集、先行集与共同集

	可达集合 R	先行集合 Q	共同集 S=R∩Q
Z1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	1,4	1,4
Z2	2,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	1,2,4	2
Z3	3,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	1,3,4	3
Z4	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	1,4	1,4
Z5	5,7,8,9,10,11,12,13,14,15	1,2,4,5	5
Z6	6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	1,2,3,4,6	6
Z7	7	1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12,13,14	7
Z8	8	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14	8
Z9	7,8,9,10,11,12,13,14,15	1,2,3,4,5,6,9,11	9,11
Z10	7,8,10,15	1,2,3,4,5,6,9,10,11	10
Z11	7,8,9,10,11,12,13,14,15	1,2,3,4,5,6,9,11	9,11
Z12	7,8,12,15	1,2,3,4,5,6,9,11,12	12
Z13	7,8,13,15	1,2,3,4,5,6,9,11,13	13
Z14	7,8,14,15	1,2,3,4,5,6,9,11,14	14
Z15	15	1,2,3,4,5,6,9,10,11,12,13,14,15	15

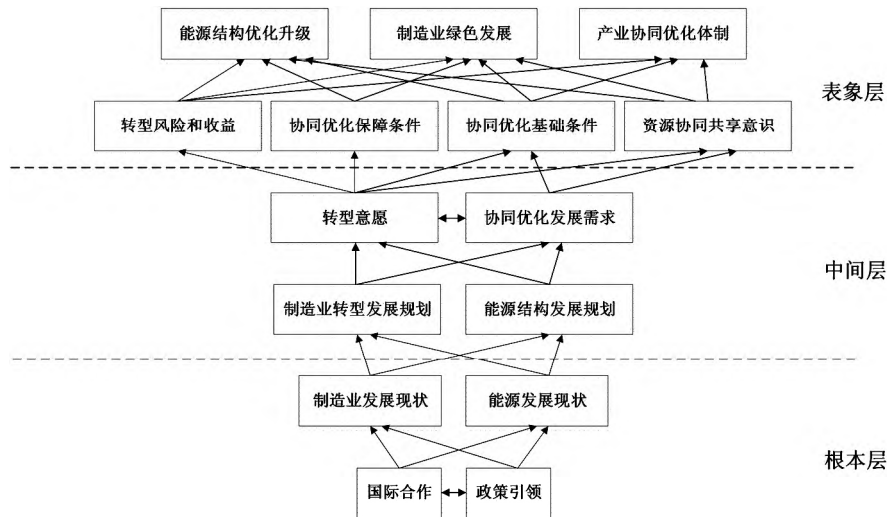


图1 COGDEM 机制的 ISM 模型

中间层由模型中的第三和第四层构成,第三层的影响因素为转型意愿和协同优化发展需求;第四层的影响因素为制造企业转型发展规划和能源结构发展规划。发展规划要阐述目前产业发展的基础和形势,剖析未来发展的方向,指出产业间协同优化发展的需求和必要性,并能够有效地将企业的战略规划转变为行动,通过解决资源配置、组织调整、改革创新等问题,给企业提供清晰的指导意见和实施策略以及优惠政策,进一步影响制造企业和综合能源运营企业绿色转型的意愿。

根本层由模型中的第五和第六层构成,其影响因素分别为国际合作和政策引领和制造业和能源发展现状。2021年11月,《巴黎协定》的制定标志着国际社会开启全面应对气候变化的新征程。国际社会倡导全球各个国家积极参与、共同构建协作共赢的气候治理体系,为中国实现碳达峰、碳中和目标提供了具体的价值参考。2021年10月,中共中央国务院颁布的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》提出了具体的指导方案。在国家政策引领下,2021年8月和12月河南省人民政府相继印发了《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的实施意见》《河南省“十四五”现代能源体系和碳达峰碳中和规划》等相关文件。2022年2月,《河南省“十四五”制造业高质量发展规划》中指出,要聚焦低碳化发展,建设高覆盖绿色制造体系。结合河南省制造业和能源产业发展现状,国际合作和政策引领成为了制造业绿色发展与能源计划耦合优化的根本驱动力量。

2.2 MICMAC 模型分析

根据表2可达矩阵每行和每列中1的个数,可

计算出该模型依赖性和驱动力均为110,平均值均为7.3;将平均值的误差线作为四个象限的分割线,可绘制出COGDEM机制的MICMAC驱动力和依赖性分类图^[19],如图2所示。本文的研究因素主要是依赖因素、联动因素和独立因素,不包括自发因素。依赖因素位于第二象限,包括转型风险和收益(Z10)、协同优化保障条件(Z12)、协同优化基础条件(Z13)、资源协同共享意识(Z14)、能源结构优化升级(Z7)、制造业绿色发展(Z8)、产业协同优化体制(Z15);这些因素具有较强的依赖性,但是驱动力不强,一般处于系统结构的表象层,受到中间层和根本层因素驱动力的影响。联动因素位于第三象限,包括转型意愿(Z9)、协同优化发展需求(Z11);这两个因素均具有较高的依赖性和驱动力,在系统中起到承上启下的关键作用,能够将下层因素影响传递到上层。独立因素位于第四象限,包括国际合作(Z1)、制造业发展现状(Z2)、能源发展现状(Z3)、政策引领(Z4)、制造企业转型发展规划(Z5)、能源结构发展规划(Z6);这些因素具有较高的驱动力,但是依赖性不强,主要是影响COGDEM机制的根本因素,同时还包括一些中间层过渡因素。

3 结论与建议

本文从系统工程的视角出发,基于扎根理论筛选和收集了COGDEM机制的影响因素,并利用Nvivo软件进行编码和概念构建,最终确定15个影响因素主范畴。在此基础上,建立了ISM解释结构模型和MICMAC分析模型,对影响因素的驱动力和依赖性进行评价。分析结果表明,国际合作和相关政策引领是最根本的影响因素,对其他因素有一

- 2021, 101016.
- [12] WU X L, SHEN X L, CUI Q. Multi-Objective flexible flow shop scheduling problem considering variable processing time due to renewable energy[J]. Sustainability, 2018, 10(3):841-871.
- [13] 颜湘武, 卢俊达, 贾焦心, 等. 含循环换电负荷及充电站的微电网多目标优化调度[J/OL]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2022, DOI: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1212.tm.20220725.1809.002.html>.
- [14] 张卫国, 宋杰, 郭明星, 等. 考虑电动汽车充电需求的虚拟电厂负荷均衡管理策略[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(9):118-126.
- [15] 崔维伟, 刘新波. 多源供电模式下企业生产运作与能源管理集成优化研究[J]. 中国管理科学, 2022, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2020.1176.
- [16] STRAUSS A, CORBIN J. Basics of qualitative research: 3rd edn[M]. Thousand Oaks, CA: Sage, 2007.
- [17] 程艳霞, 梁天宝. 科技创新与商业模式创新融合影响因素研究: 以湖北省装备制造业为例[J]. 企业经济, 2019, 38(2):73-79.
- [18] 李煜华, 袁亚雯. 碳中和目标下制造业绿色转型机制研究: 基于 ISM-MICMAC 模型[J]. 管理现代化, 2021, 41(6):100-104.
- [19] 咎祺祺, 周利平, 罗康明. 基于 ISM-MICMAC 的农地流转影响因素研究[J]. 山东农业大学学报(社会科学版), 2022, 24(3):8-15+145.

Collaborative Optimization of Green Development and Energy Management in Manufacturing Industry Based on ISM-MICMAC Model ——Taking Henan Province as an Example

DONG Jun

(School of Management, Henan Institute of Technology, Xinxiang 453003, China)

Abstract: Green development is the essential requirement of intelligent manufacturing. How to accelerate the development progress of green transformation in manufacturing industry under the background of constructing a new energy system of the national system has become a hot topic of current research by scholars. Therefore, through field investigation of several manufacturing enterprises in Henan Province, this paper collects relevant information and data, uses Nvivo software to integrate and code the original data, screen out key core influencing factors, build ISM-MICMAC model, and analyze the driving force and dependence of key factors. Research has shown that international cooperation and relevant policy guidance are the most fundamental influencing factors for the coordinated optimization of green development and energy management in the manufacturing industry. They have a certain restraining and guiding effect on other factors, and other related factors have a linkage or transmission effect. Finally, based on the theoretical analysis results of ISM and MICMAC models, corresponding decision-making suggestions are put forward to improve the collaborative optimization mechanism of manufacturing green development and energy management, and help the high-quality development of manufacturing industry.

Key words: ISM-MICMAC model; manufacturing; green development; energy management; coordination