



绿色冶金技术创新影响因素识别研究

刘何美, 谢朝明

(中冶长天国际工程有限责任公司, 湖南 长沙 410205)

摘要: 随着工业经济的快速发展, 环境问题变得愈加严峻, 特别是在资源利用效率和污染排放方面。在此背景下, 绿色冶金技术的创新成为解决这些问题的重要途径之一。为研究绿色冶金技术创新的影响因素, 本文通过文献分析法, 识别双高环境下智慧工地安全管理韧性影响因素, 采用解释结构模型与 MICMAC 方法, 将 19 个影响因素分为 5 个层级, 从系统视角剖析了双高环境下智慧工地安全管理韧性影响因之间的递阶层级结构关系和内在作用机理。结果表明: 低驱动力、高依赖性的因素, 如节能减排技术的应用与环境保护培训计划, 虽然对绿色冶金技术创新具有重要影响, 但其效果往往依赖于更深层次的技术支持和政策保障; 高驱动力、高依赖性的因素, 如绿色冶金设备的投资和智能化生产系统, 不仅依赖于制度和技术的完善, 还能促进其他创新措施的推进, 成为系统中的关键联动因素。本文研究结果可为绿色冶金技术创新在冶金行业可持续发展中的作用提供重要的理论依据和实践参考。

关键词: 绿色冶金; 技术创新; 影响因素; ISM - MICMAC 模型

中图分类号: F426. 3; F273. 1

文献标志码: A

文章编号: 1673 - 8993(2025)01 - 0080 - 07

doi: 10. 13402/j. gcjs. 2025. 01. 013

Identification of influencing factors of green metallurgical technology innovation

LIU Hemei, XIE Chaoming

(Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha 410205, Hunan, China)

Abstract: With the rapid development of industrial economy, environmental problems have become more and more serious, especially in terms of resource utilization efficiency and pollution emission. Based on that, the innovation of green metallurgy technology has become one of the important ways to solve these problems. In order to study the influencing factors of green metallurgy technology, this paper identifies the influencing factors of the toughness of smart site safety management in double-high environment through literature analysis, adopts interpretive structure model and MICMAC method, and divides 19 influencing factors into 5 levels. From the perspective of system, the hierarchical structure relationship and internal mechanism of influencing factors of toughness of smart site safety management in double-height environment are analyzed. The results show that the factors of low driving force and high dependence, such as the application of energy-saving and emission reduction technology and environmental protection training program, have an important impact on green metallurgical technology innovation, but their effect often depends on deeper technical support and policy guarantee; High driving force, high dependence factors, such as investment in green metallurgical equipment and intelligent production systems, not only rely on the improvement of institutions and technologies, but also promote the advancement of other innovative measures, becoming a key linkage factor in the system. The research results of this paper can provide important theoretical basis and practical reference for the role of green metallurgical technology innovation in

收稿日期: 2024 - 08 - 18

基金项目: 湖南省科技创新计划资助项目(2024ZL6020)

作者简介: 刘何美(1983—), 女, 工程师, 从事烧结球团相关技术研究及论文编审工作。

通信作者: 谢朝明(1985—), 男, 高级工程师, 从事钢铁冶金、直接还原方面的研究及工程设计工作。

the sustainable development of metallurgical industry.

Key words: green metallurgy; technological innovation; influencing factors; ISM-MICMAC model

随着我国工业经济的快速发展, 经济的持续增长在带来新突破的同时, 也暴露出环境问题的严重性。早期对环境保护的忽视, 使得能源短缺和环境污染问题逐渐成为制约社会经济发展的瓶颈。这些问题不仅导致生态环境恶化, 还造成了自然资源的严重损害。在这一背景下, 绿色技术创新成为解决这些问题的核心途径之一^[1]。绿色冶金技术的创新, 不仅能够显著提高资源的利用率, 减少资源浪费和污染排放, 还能够有效缓解环境负担, 推动产业的可持续发展^[2]。因此, 绿色冶金技术创新成为了社会经济可持续发展的坚实基础, 并为企业提供了差异化竞争优势。我国的电力、钢铁和水泥等行业是碳排放的主要来源, 特别是钢铁行业, 其碳排放占比尤为突出。自 2020 年我国“双碳”战略提出以来, 各大钢铁企业纷纷加大对减排技术的投入, 发布碳达峰和碳中和推进计划, 并明确制定了碳排放目标。这一战略的实施, 要求行业在转型过程中更加重视绿色技术创新, 以降低碳足迹, 减少环境污染。在这一过程中, 绿色冶金技术的创新不仅符合全球环保趋势, 也对我国冶金行业的可持续发展起到了重要推动作用。这一系列举措和目标的实现, 体现了绿色技术创新在应对资源瓶颈和环境挑战中的关键作用, 推动了我国冶金行业朝着更加环保、节能和高效的方向迈进。

绿色冶金技术创新是近年来国内冶金行业应对环境压力、提升资源利用效率、推动可持续发展的关键方向。随着中国政府对环保政策的严格实施, 以及国际社会对可持续发展的关注, 绿色冶金技术成为了学术界和工业界研究的热点之一。国内学者在这一领域的研究, 主要集中在节能减排与高效冶金技术和绿色冶金工艺的智能化与数字化两个方面。在节能减排与高效冶金技术领域, 国内学者重点关注冶金过程中的能源消耗和二氧化碳排放问题。通过优化生产工艺、提高炉料利用率、能量回收技术的应用, 以及智能控制系统的引入, 逐步实现了冶金过程的节能和减排目标。如: 张琦等^[3]研究了冶金能源的高效利用和优化管理, 提出通过优化高炉操作参数和炉料配比改

进冶炼过程; 陈令坤^[4]分析了高炉智能控制系统的应用, 指出这种技术能够显著降低冶炼能耗, 同时减少碳排放; 唐绍其^[5]则从绿色冶金技术的具体应用入手, 探讨了其在降低环境污染和提升资源利用效率方面的实际效果; 刘勇等^[6]开发了基于大数据与人工智能的电磁冶金数字化系统, 实现了冶炼过程的精准控制, 显著提升了能源利用率; 谢龙^[7]研究了自动化技术在冶金机械工程中的应用, 证明智能化设备不仅能够降低资源消耗, 还能提升产品质量; 向海晟^[8]分析了自动化设备在冶金过程中的节能效果, 提出通过优化自动化工艺设计可以进一步减少能源浪费和碳排放。

本文通过文献分析法, 识别双高环境下智慧工地安全管理韧性影响因素, 采用解释结构模型与 MICMAC 方法, 将 19 个影响因素分为 5 个层级, 从系统视角剖析双高环境下智慧工地安全管理韧性影响因之间的递阶层级结构关系和内在作用机理, 以期绿色冶金技术创新在冶金行业可持续发展中的作用提供一定的参考与借鉴。

1 绿色冶金技术创新影响因素识别

随着全球环保意识的提高和我国“双碳”战略的深入实施, 绿色冶金技术的创新已成为促进冶金行业可持续发展的核心内容。国内外的研究表明, 绿色冶金技术创新的影响因素不仅涉及技术本身的进步, 还包括政策法规、市场需求、企业的技术投入等多个维度。首先, 技术创新与工艺优化是提升冶金行业绿色化水平的关键因素, 涉及高效能冶金技术的应用以及对传统工艺的不断改进。其次, 政策支持与法规引导在推动绿色冶金技术的研发和应用中扮演着至关重要的角色, 尤其是在碳排放和资源节约方面。再次, 企业的技术投入和研发能力直接影响到绿色技术的创新能力和实际应用效果。最后, 市场需求和环境压力则推动着企业和行业加速技术革新, 以实现更低的碳排放和更高的资源利用率。本文从相关文献中提取与绿色冶金技术创新相关的 4 个一级影响因素和 19 个二级影响因素, 如表 1^[9-10]所示。

表 1 绿色冶金技术创新影响因素

一级影响因素	二级影响因素	解释
技术创新 与工艺优化	高效能冶金技术应用(F_1)	优化冶炼工艺和设备以提高效率,减少能源浪费和资源消耗
	低碳冶金工艺的突破(F_2)	开发氢冶金、无焦煤炼铁等低碳技术,减少碳源或替代传统碳基燃料以降低碳排放
	能源利用效率(F_3)	通过尾气回收、余热利用等方式减少能源浪费,提高能源转换效率,优化能源消耗结构
	资源回收与废弃物利用(F_4)	冶金废渣、废气等副产品资源化,如废渣用于水泥生产或废气中提取有价值成分
	绿色冶金设备与材料的研发(F_5)	开发新型环保型冶金炉、低耗能设备及替代原料,推进冶金设备的绿色化
	节能减排技术创新(F_6)	研发更高效的节能减排技术,如优化燃料配比、智能温控,减少温室气体排放
	碳排放管理技术(F_7)	利用监测和管理工具对冶金过程中的碳排放进行动态优化分析,实现精准减排
政策支持 与法规引导	政府补贴与奖励政策(F_8)	政府通过资金补贴、奖励等形式鼓励企业加大绿色技术研发投入,减轻其经济负担
	法规的严格执行与监管力度(F_9)	加强环保法规的实施,对碳排放和污染行为进行监控,迫使企业改进生产技术
	行业绿色标准的制定与实施(F_{10})	制定和推广冶金行业的绿色标准,为技术研发和实施提供规范指引
	碳排放交易机制的成熟与普及(F_{11})	借助碳交易市场,引导企业通过市场机制控制排放,推动低碳技术采用
企业的技术投入 与研发能力	企业绿色技术的投资回报分析(F_{12})	企业需平衡绿色技术的经济性与长期回报,确保技术研发的可行性
	企业研发能力和创新管理(F_{13})	建立高效的研发和管理体系,提升技术创新能力和成果转化效率。
	大数据与智能化技术在冶金中的应用(F_{14})	通过大数据和 AI 技术实现冶金过程数字化管理,优化资源使用效率
	绿色工艺的实施与推广(F_{15})	推动绿色技术成果在全产业链中的应用,提升整体绿色化水平
市场需求 与环境压力	市场对低碳产品的需求(F_{16})	市场对绿色低碳产品的需求增加,推动企业开发环保冶金产品
	公众环保意识的提高(F_{17})	社会环保意识增强对绿色产品和技术的需求,为绿色技术推广提供动力
	企业绿色品牌的建立(F_{18})	通过绿色技术树立企业品牌形象,增强市场竞争力
	绿色环保技术合作(F_{19})	推动国际间的技术合作与交流,加快绿色技术的研发与应用

2 ISM 模型构建

为了揭示绿色冶金技术创新影响因素之间的相互关系及其层次结构,选择使用解释结构模型(interpretative structural modeling method, ISM)进行研究。ISM 通过系统化和分层分析,可以有效简化复杂的因素体系,识别出哪些因素对整体系统具有基

础性或驱动作用,哪些因素则受其他因素影响较大。其优点在于,不仅能够直观地展示影响因素的递阶关系,还能够为决策者提供明确的优先级参考。

2.1 邻接矩阵建立

根据 ISM 原理,建立 19×19 的邻接矩阵。当因素 i 对因素 j 有直接影响时,则在邻接矩阵中的对应元素赋值为 1; 当因素 i 对因素 j 没有直接影

响时, 则在邻接矩阵中的对应元素赋值为 0。为了确定因素间的影响关系, 利用问卷调查法, 将收集回来的数据按照少数服从多数的原则, 将 80% 有关学者认为相关的影响因素判定为有直接影响, 少于 80% 则认为无直接影响, 部分有疑问的因素则询问专家意见, 进行因素间的有向关系判定, 在此基础上构建出邻接矩阵 M , 如表 2 所示。

2.2 可达矩阵计算

通过邻接矩阵可以直观地观察出不同影响因素之间的直接影响关系, 但其间的间接关系无法体现。因此, 运用 MATLAB 软件对邻接矩阵 A 进行布尔代数运算计算可达矩阵, 当得到一个矩阵 M 满足公式(1)时, 即为可达矩阵, 如表 3 所示。

$$M = (A + 1)^{n+1} = (A + 1)^n \neq \dots \neq (A + 1)^2 \neq (A + 1)^1 \quad (1)$$

式中: M 为可达矩阵; A 为邻接矩阵, 表示节点之间的直接关系; n 为邻接矩阵 A 的维度。

2.3 可达矩阵分解

为直观地表示各影响因素的层级情况以及相互关系, 对可达矩阵进行层级分解。首先, 确定可达

矩阵 M 中第 i 行中所有矩阵元素为 1 的列所对应的元素集合为可达集, 表示各影响因素间的影响关系, 可达矩阵 M 中第 j 列中所有矩阵元素为 1 的行所对应的元素集合为先行集, 表示各影响因素间的被影响关系, 可达集与先行集的交集称为共同集, 如表 4 所示, 其中 F_i 为影响因素, $i = 1 \sim 19$ 。其次, 依据可达集与先行集逐步划分层级位。经过多次迭代后, 绿色冶金技术创新影响因素被分为 4 个层级, 如表 5 所示。

2.4 ISM 模型构建

在对绿色冶金技术创新影响因素进行可达矩阵层级分解后, 19 个影响因素被划分为 5 个层级。根据 ISM 模型的层次递阶结构理论, 该模型可分为表象层、中间层和根源层。表象层位于最上层, 主要包括技术创新与工艺优化、政策支持与法规引导、企业的技术投入与研发能力等直观、显而易见的影响因素, 这些因素主要通过具体的技术创新措施、政策导向和企业的研发投入来体现, 是最直接的推动绿色冶金技术创新的动力。表象层的因素受中间层和根源层的驱动和影响。中间

表 2 邻接矩阵

因素	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}
F_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
F_2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F_3	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
F_4	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
F_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
F_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{11}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
F_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{13}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
F_{14}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{15}	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
F_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{17}	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
F_{18}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
F_{19}	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

表 3 可达矩阵

因素	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}
F_1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
F_2	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
F_3	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
F_4	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
F_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_9	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
F_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F_{11}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
F_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
F_{13}	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
F_{14}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
F_{15}	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
F_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
F_{17}	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
F_{18}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
F_{19}	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

表 4 影响因素可达集与先行集

F_i	可达集	前因集	交集
1	[1,4,6,7,8,10,12,13,14]	[1]	[1]
2	[2,6,7,9,14,19]	[2]	[2]
3	[3,6,7,9,14,16]	[3]	[3]
4	[4,6,7,8,10,12,13,14]	[1,4,13,17]	[4,13]
5	[5]	[5]	[5]
6	[6]	[1,2,3,4,6,9,13,14,15,17,18,19]	[6]
7	[7]	[1,2,3,4,7,13,17,19]	[7]
8	[8]	[1,4,8,11,13,15,17]	[8]
9	[6,9,14]	[2,3,9,19]	[9]
10	[10]	[1,4,10,11,13,17,18]	[10]
11	[8,10,11,12]	[11]	[11]
12	[12]	[1,4,11,12,13,15,17]	[12]
12	[4,6,7,8,10,12,13,14]	[1,4,13,17]	[4,13]
14	[6,14]	[1,2,3,4,9,13,14,17,18,19]	[14]
15	[6,8,12,15]	[15]	[15]
16	[16]	[3,16]	[16]
17	[4,6,7,8,10,12,13,14,17]	[17]	[17]
18	[6,10,14,18]	[18]	[18]
19	[6,7,9,14,19]	[2,19]	[19]

表 5 影响因素层级分解

层级划分	影响因素
第一层级	$F_5, F_6, F_7, F_8, F_{10}, F_{12}, F_{16}$
第二层级	F_{11}, F_{14}, F_{15}
第三层级	F_4, F_9, F_{13}, F_{18}
第四层级	F_1, F_3, F_{17}, F_{19}
第五层级	F_2

层由第二层和第三层的因素组成, 体现了冶金技术创新过程中的较为复杂和综合的层次。这些因素既影响表象层的技术发展与政策实施, 也受到根源层的制度保障、技术支撑和市场需求的制约。例如, 碳排放管理、能源利用效率和市场需求等因素, 都是对绿色冶金技术创新有着中层次作用的关键因素。根源层则是层级结构中的基础层, 涵盖了最为核心的因素, 如绿色技术投资回报、企业研发能力、政府政策和法规的支持等。根源层因素为整个绿色冶金技术创新体系提供了制度保障和基础支持, 其作用不仅直接影响上层因素的实现, 还为整个冶金行业的绿色转型奠定了坚实的制度和基础。根源层因素的完善程度直接决定了技术创新和绿色冶金实践的深远效果。

最终, 这一层级结构体现了绿色冶金技术创新的递进性和内在联系, 表明要实现冶金行业的绿色转型, 不仅要加强根源层的政策保障和制度支持, 还需兼顾中间层和表象层的技术创新和市场导向, 以实现全方位的绿色冶金技术提升。ISM 模型如图 1 所示。

3 双高环境下智慧工地安全管理韧性的 MICMAC 分析

交叉影响矩阵相乘法 (matrices impacts croises-multiplication appliance classement, MICMAC) 用于影响因素的分类, 是根据影响因素的驱动力和依赖力确定它们之间的关系, 其中具有更大驱动力的影响因素可以强烈影响其他因素, 而具有更高依赖性的影响因素受其他因素影响更大。基于可达矩阵的相关计算, 19 个影响因素被分在 4 个不同的象限 (独立、联动、自发和依赖), 如图 2 所示。

由图 2 可知: 在 MICMAC 模型中, 高驱动力、低依赖性的因素为根源性因素, 包括 F_6 (节能减排技术创新)、 F_7 (碳排放管理技术)、 F_{10} (行业绿色标准的制定与实施)、 F_{12} (企业绿色技术的投资回报分析)、 F_{14} (大数据与智能化技术在冶金中的应用)。这些因素具有较强的驱动力, 代表了推动绿色冶金技术创新的核心基础条件。节能减排技术和碳管理技术是实现低碳目标的关键路径, 绿色标准的制定为行业绿色化提供了明确的方向, 投资回报分析保障了技术经济可行性, 而大数据与智能化技术则通过优化资源配置和提升效率, 为冶金工业的转型升级提供技术支撑。这些因素的优先突破和持续强化能够为整个绿色冶金体系提供强有力的技术与经济支撑, 从根本上推动产业绿色化转型。

此外, 高依赖性、高驱动力的因素属于中间层因素, 包括 F_4 (资源回收与废弃物利用)、 F_{11}

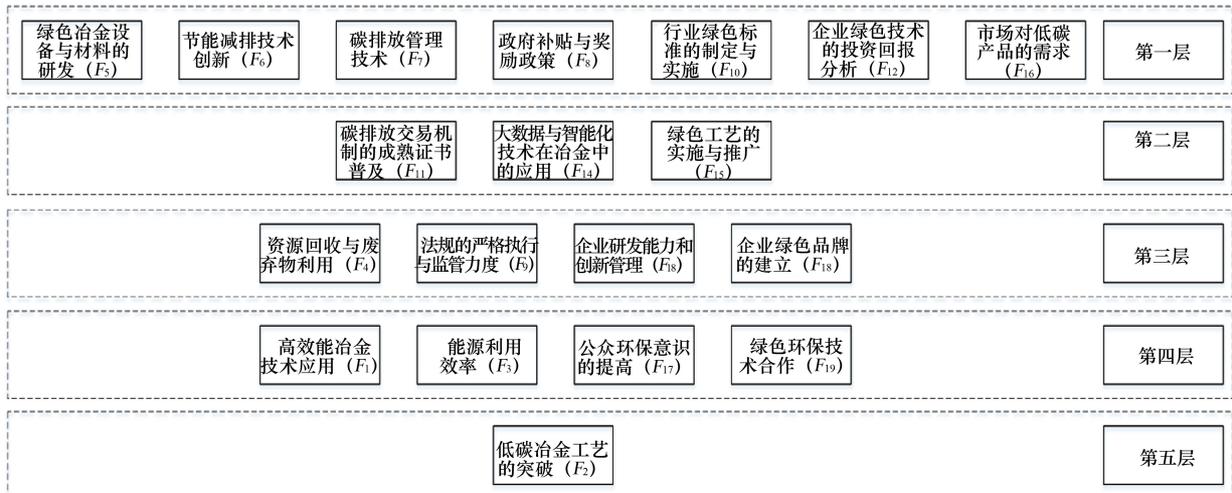


图 1 双高环境下智慧工地安全管理韧性影响因素 ISM 模型

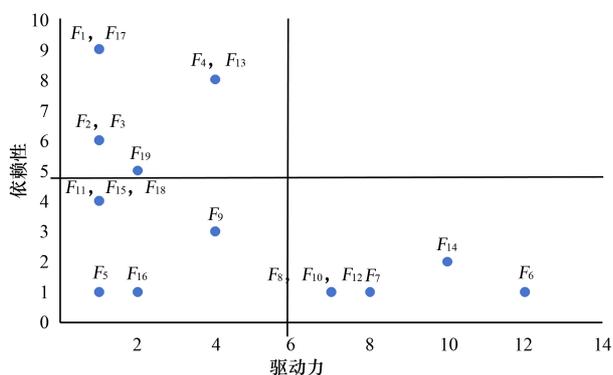


图 2 影响因素 MICMAC 分析

(碳排放交易机制的成熟与普及)、 F_{13} (企业研发能力和创新管理)。这些因素在体系中起着承上启下的重要作用,既依赖于根源性因素的推动,也通过其实现对其他因素发挥影响。资源回收和废弃物利用推动了产业链的绿色延伸,碳交易机制通过市场化手段加速低碳技术的推广,而企业研发能力则决定了技术创新的深度与广度。

低驱动力、高依赖性的因素为表象层因素,包括 F_1 (高效能冶金技术应用)、 F_2 (低碳冶金工艺的突破)、 F_3 (能源利用效率)、 F_{17} (公众环保意识的提高)。这些因素反映了绿色冶金技术创新的直接表现,但其实现依赖于根源性因素的支持和中间层因素的联动作用,例如低碳工艺的突破需要技术创新和政策推动的共同支持。

最后,低驱动力、低依赖性的因素如 F_5 (绿色冶金设备与材料的研发)、 F_9 (法规的严格执行与监管力度)、 F_{18} (企业绿色品牌的建立)。这些因素对体系的整体影响较小,但在特定情境下仍可能发挥一定的补充性作用,如绿色设备研发为整体创新提供了潜在的技术储备,而绿色品牌的建立则助力企业提升市场竞争力。

4 结 论

本文通过 ISM-MICMAC 模型的分析,探讨了影响绿色冶金技术创新韧性的关键因素,通过对各影响因素的层次结构和相互作用关系的分析,得出主要研究结论:在低驱动力、高依赖性的因素中,诸如绿色冶金技术培训与教育计划、管理

人员的环保素养与应急反应能力,这些因素虽对冶金行业的整体绿色转型有显著影响,但其效果往往依赖于其他更深层次制度和技术机制的完善与支持。相反,绿色冶金技术中资源利用效率提升与环保设备的缺陷管理等高驱动力、低依赖性的因素表明,解决这些问题的关键在于提升外部政策支持和技术创新体系的健全性,而非受到系统中其他因素的制约。此外,行业内碳排放控制政策与员工福利保障等高驱动力、高依赖性的因素处于系统核心地位,这些因素不仅依赖于完善的绿色冶金技术制度,还能够推动其他技术创新和管理措施的发展,起到关键联动作用。通过对 MICMAC 模型的分析,为冶金行业在应对环境变化与技术挑战时如何提升绿色冶金技术创新韧性提供了理论支持,强调从驱动性因素着手优化行业管理结构,从而提升整个系统的环保效率和技术适应能力。

参考文献:

- [1] 陈景明. 梅钢烧结绿色低碳技术实践[J]. 冶金能源, 2023, 42(5): 17-20.
- [2] 林高平, 王建跃, 戴坚. 绿色低碳炼铁技术展望[J]. 冶金能源, 2017, 36(增刊1): 10-13.
- [3] 张琦, 谢升, 沈佳林. 冶金能源高效利用与优化管控[J]. 冶金自动化, 2022, 46(4): 1-10; 45.
- [4] 陈令坤. 基于高效冶炼的高炉智能控制系统分析[J]. 冶金自动化, 2021, 45(3): 2-10.
- [5] 唐绍其. 绿色冶金技术在冶金中应用与措施[J]. 有色金属(冶炼部分), 2024(3): 157.
- [6] 刘勇, 廉功豪, 范建通, 等. 基于大数据与人工智能的电磁冶金数字化系统[J]. 河北冶金, 2024(11): 13-18; 60.
- [7] 谢龙. 自动化技术在冶金机械工程中的应用研究[J]. 冶金与材料, 2024, 16(10): 31-33.
- [8] 向海晟. 自动化设备在冶金过程中的能源消耗与节能优化[J]. 冶金与材料, 2024, 16(9): 133-135.
- [9] 应海松, 李宇璐, 陈贺海, 等. 智能化技术在铁矿品质检验应用及其发展[J]. 冶金分析, 2021, 41(12): 27-38.
- [10] 郭森, 李卓琳, 张志海, 等. 绿色钢铁产品认证发展现状[J]. 冶金分析, 2021, 41(11): 89-95.