

基于DEMATEL-ISM模型的 电解铝建设项目施工阶段 成本风险研究

肖洋

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2026年2月23日; 录用日期: 2026年3月16日; 发布日期: 2026年3月23日

摘要

近年来,在国家“双碳”战略与行业政策推动下,电解铝产能置换与技术升级项目集中建设,其施工阶段成本风险管理至关重要。本文针对电解铝建设项目成本风险研究不足的现状,运用DEMATEL-ISM模型开展研究。通过文献与访谈识别出5个相关方的18个成本风险因素的成本风险清单,并以云南省某电解铝建设项目为案例,计算各风险因素的影响度、被影响度、中心度及权重,构建结构层级模型。将风险因素划分为直接影响、间接影响、根本影响三大区间及五个层级,并基于研究结果,从保障建设单位资金按期支付、加强施工组织设计管理与重点关注直接成本损失三方面提出风险防范对策,为电解铝建设项目施工阶段成本风险管控提供科学依据。

关键词

电解铝, 成本风险, DEMATEL-ISM模型

Research on Cost Risks during the Construction Phase of Electrolytic Aluminum Construction Projects Based on the DEMATEL-ISM Model

Yang Xiao

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: February 23, 2026; accepted: March 16, 2026; published: March 23, 2026

Abstract

In recent years, driven by the national “dual carbon” strategy and industry policies, capacity replacement and technological upgrading projects of electrolytic aluminum have been concentrated, making cost risk management during the construction phase crucial. Addressing the lack of research on cost risks of electrolytic aluminum construction projects, this paper adopts the DEMATEL-ISM model for research. Through literature review and interviews, a cost risk list consisting of 18 risk factors involving 5 relevant parties is identified. Taking an electrolytic aluminum construction project in Yunnan Province as a case study, the influence degree, affected degree, centrality and weight of each risk factor are calculated, and a hierarchical structure model is constructed. The risk factors are divided into three major categories (direct impact, indirect impact, and fundamental impact) and five levels. Based on the research results, risk prevention countermeasures are proposed from three aspects: ensuring timely fund payment by the construction unit, strengthening the management of construction organization design, and focusing on direct cost loss, providing a scientific basis for cost risk control during the construction phase of electrolytic aluminum construction projects.

Keywords

Electrolytic Aluminum, Cost Risk, DEMATEL-ISM Model

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电解铝产业是我国国民经济的重要基础产业，电解铝作为有色金属工业的重要组成部分，是国家基础原材料产业的关键领域。作为工业生产的重要原材料之一，电解铝被广泛应用于建筑、交通、电力、航空航天等行业。近几年来，我国电解铝产能均占全球产能 50% 以上，2024 年我国电解铝产量达到 4400 万吨，占全球电解铝产能的 60.5%，首次突破 60%。2022 年 10 月，工信部、国家发改委、生态环境部三部门印发的《有色金属行业碳达峰实施方案》中明确指出，加快低效产能退出，坚决淘汰落后生产工艺、技术、装备，依据能效标杆水平，推动电解铝等行业改造升级；2024 年 7 月，国家发改委等五部门印发《电解铝行业节能降碳专项行动计划》中也指出，到 2025 年底，电解铝行业能效标杆水平以上产能占比达到 30%；同时，国家“双碳”战略的提出，大量电解铝产业由东部地区逐步转向西部[1]，这些因素直接推动了行业技术升级和产能置换项目的集中建设。

成本风险管理是工程建设项目中对于各利益方来说都是十分重要的环节，并指出如果政府方的法律、法规、规章变更而导致建设期项目发生额外费用或工期延误，且会造成项目的成本费用增加[1]。在工程建设项目中，甲方在决算时为获取资金利益，延迟结算价款，造成施工企业长时间无法收到结算款；施工单位因为对成本缺乏严格的控制，经常造成人材机的超支情况；成本核算监管不足与人员素质低下也成为施工企业成本风险影响因素[3]。同时针对大型基础设施项目群因技术体系与外部条件的复杂性，应当全面考虑政策法规、地质气候条件、交通运输条件、施工组织设计等制约因素[4]。

目前，针对工程建设项目成本风险研究较为充分，特别是针对装配式建筑的成本风险研究[5]-[7]，但针对电解铝建设项目的成本风险研究较少，因此本文通过运用 DEMATEL-ISM 模型，对电解铝建设项目

成本风险进行研究。

2. 相关理论基础

DEMATEL 擅长量化因素间的因果影响强度，但无法清晰呈现层级；ISM 能构建层级结构，但对因果关系的刻画较弱，二者结合可实现优势互补。通过集成和方法，降低 ISM 方法中计算可达矩阵的复杂度、减少可达矩阵的计算量使得可达矩阵的计算过程简单，易于理解[8]。

2.1. DEMATEL-ISM 模型构建思路

DEMATEL-ISM 模型构建思路如图 1 所示，首先通过专家打分获取风险因素间直接影响关系，借助 DEMATEL 计算综合影响矩阵，确定各因素的影响度、被影响度、原因度中心度及权重。随后将综合影响矩阵转化为可达矩阵，通过 ISM 方法划分风险层级，构建系统结构模型；最终结合影响强度与层级位置，定位核心风险因素，为后续风险管控提供方向。

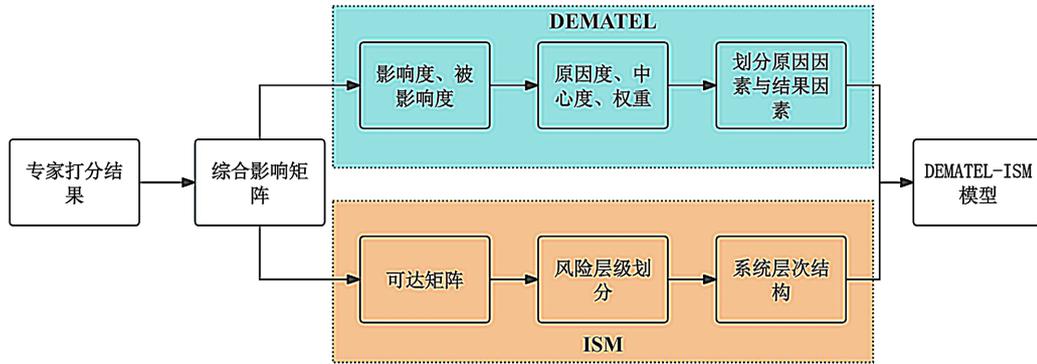


Figure 1. Flowchart of the DEMATEL-ISM model construction
图 1. DEMATEL-ISM 模型构建流程图

2.2. DEMATEL-ISM 模型计算步骤

(1) 构建直接影响矩阵 A 。将风险影响因素整理形成调查问卷，邀请专家进行打分，采用 0-4 打分法对指标进行两两打分，其中 0 代表因素之间无直接影响，1 代表因素之间直接影响较弱，2 代表因素之间直接影响一般，3 代表因素之间影响较强、4 代表因素之间直接影响很强。得到直接影响关系矩阵 A 。

$$A_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： a_{ij} 为因素 x_i 对 x_j 的影响程度，且当 $i=j$ 时， $a_{ij} = 0$ 。

(2) 计算规范化矩阵 N 。将直接影响矩阵 A 进行规范化处理，对每行元素求和之后取最大值，再将直接影响矩阵 A 除以该最大值，最终得到规范化矩阵 N 。

$$N = \frac{A}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

(3) 计算综合影响矩阵 T 。单位矩阵 I 减去规范化矩阵 N 的负一次方与规范化矩阵 N 相乘，计算得到

综合影响矩阵 T 。

$$T = N(I - N)^{-1} (1 \leq i \leq n) \quad (3)$$

(4) 确定中心度 M_i 和原因度 N_i 。首先计算影响度 D 与被影响度 C ，然后影响度与被影响度相加之和计算得出中心度 M_i ，影响度与被影响度相减之差计算得出原因度 N_i 。

$$\begin{cases} D = \sum_{j=1}^n T_{ij}, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \\ C = \sum_{j=1}^n T_{ji}, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \\ M_i = D + C \\ N_i = D - C \end{cases} \quad (4)$$

(5) 计算权重 V_i 。根据公式(4)计算得出各元素的中心度 M_i ，通过公式计算所得元素在系统中的权重 V_i 。

$$V_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (5)$$

(6) 建立邻接矩阵 X 。将计算得出的综合影响矩阵 T ，输入阈值 λ ，阈值 λ 取值范围为 $0 \leq \lambda \leq 1$ ，当综合影响矩阵中的元素 T_{ij} 小于阈值 λ 时，则将 $T_{ij} = 0$ ，当综合影响矩阵中的元素 T_{ij} 大于阈值 λ 时，则将 $T_{ij} = 1$ 。所有元素计算完成后，建立邻接矩阵 X 。

$$\begin{cases} T_{ij} \geq \lambda (i = 1, 2, 3, \dots, n), a_{ij} = 1 \\ T_{ij} < \lambda (i = 1, 2, 3, \dots, n), a_{ij} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

(7) 计算可达矩阵 M 。设单位矩阵 I 为与邻接矩阵 X 同阶的单位矩阵，根据邻接矩阵 X ，进行以下的布尔运算可以求得可达矩阵 M 。式中： k 表示两个元素的路径长度。

$$(X + I)^{k-1} \neq (X + I)^k \neq (X + I)^{k+1} = M \quad (7)$$

(8) 绘制层次结构图。根据可达矩阵计算出先行集合 Q 和可达集合 R ，根据交集 $A = Q \cap R$ 进行层级确定，绘制层次结构图。

3. DEMATEL-ISM 成本风险模型的构建

3.1. 成本风险因素的识别

根据基于访谈与文献研究形成的电解铝建设项目成本风险识别表。通过知网、Web of Science 等搜索相关文献共 19 篇、访谈征询相关领域从业人员与专家意见及自身工作经验，形成了包含建设单位、施工单位、设计单位、监理单位和政府单位 5 个相关方，18 个风险因素，并对其进行编码及来源注明，形成了电解铝建设项目施工阶段成本风险因素清单表，如表 1 所示。

3.2. 基于 DEMATEL-ISM 模型案例研究

为研究 DEAMTEL-ISM 模型的科学性与准确性，以云南省省某电解铝建设项目为例开展成本风险管理研究，该项目是云南省响应国家“双碳”战略、打造“绿色铝硅谷”的核心重点工程，选址于云南省文山州砚山县城北东郊，地处文山州绿色铝产业园区核心板块。工程建筑面积 7.2 万平方米，范围涵盖

Table 1. List of cost risk factors in the construction phase of electrolytic aluminum construction projects
表 1. 电解铝建设项目施工阶段成本风险因素清单

相关方	风险因素	编码	来源
建设单位 B1	建设单位资金链断裂或工程款支付延迟	B11	[3] [4] [9]-[16]
	总包合同条款遗漏, 对材料价差调整、工期延误责任等约定不明确	B12	[2] [11] [13]-[21]
	甲方集采集供部分材料保质期较短造成材料过期	B13	访谈
施工单位 B2	施工组织设计不合理造成的施工顺序混乱, 交叉作业等导致延期	B21	[4] [6] [9] [11]-[16] [20]
	分包管理不善造成的分包工程质量不合格导致返工	B22	[2] [3] [9] [11] [15] [21] [22]
	未严格执行分包过程结算月报月清制度造成超结超付	B23	访谈
	新工艺、新技术不成熟导致施工效率未达预期, 增加调试与优化成本	B24	访谈
	主材料价格变动, 高价特种材料运输、存放与损耗	B25	[3] [4] [9] [11] [13]-[15] [17] [19] [20] [23] [24]
设计单位 B3	地质及气候问题造成的费用增加	B26	[4] [11] [13]-[15] [17] [19]-[24]
	非标设备安装调试成本	B27	访谈
	耐火材料损耗成本	B28	访谈
	高能耗设备试运行电费波动成本	B29	访谈
监理单位 B4	设计深度不足与现场条件不符, 施工中频繁设计变更导致的返工	B31	[9]-[13] [15]-[19] [25] [26]
	设计图纸精细度低, 难以精确表达复杂节点	B32	访谈
政府单位 B5	施工过程中监管不当	B41	[2] [4] [9] [11]-[13] [20] [23]-[25]
	监理人员数量少造成现场监理缺位, 后整改成本增加	B42	访谈
政府单位 B5	因环保检查停工导致工期延误	B51	访谈
	因产能管控政策调整导致项目停工	B52	[9] [23]

多专业、多领域, 属于大型综合体建设项目。新建设施包含 1 套脱硫系统、2 套供料净化系统, 原料车间新制电解槽及母线 131 台, 配套管道与电气安装系统, 涉及土建工程、钢结构工程、市政工程、机电安装工程、消防工程等 10 余个专业, 各专业交叉作业多、成本风险管理难度大。

3.2.1. 收集调查问卷

通过邀请电解铝建设相关领域专业从业人员, 造价专家等共 9 人其中高级工程师职称 4 人, 工程师职称 5 人, 进行调查问卷, 对各成本风险因素之间的相互影响程度进行打分, 采用 0~4 分打分法对 15 个指标进行两两打分, 具体规则如表 2 所示。

Table 2. Scoring rules of the 0~4 scoring method

表 2. 0~4 打分法打分规则

分值	0	1	2	3	4
影响程度	无直接影响	影响较弱	影响一般	影响较强	影响很强

3.2.2. 构建 DEMATEL 模型

对回收调查问卷进行平均值计算, 对平均值计算结果进行四舍五入, 建立直接影响矩阵 A ; 根据公式(2)计算求出规范化矩阵 N ; 根据公式(3)计算求出综合影响矩阵 T ; 根据综合影响矩阵 T , 通过公式(4)-

公式(5)分别计算得出影响度、被影响度、原因度、中心度与权重, 计算结果如表 3 所示, 并绘制原因度 - 中心度图如图 2 所示。

Table 3. Calculation results of influence, affected degree, centrality, causality and weight
表 3. 影响度、被影响度、中心度、原因度与权重计算结果

	影响度 D	被影响度 C	中心度 M_i	原因度 N_i	权重 V_i
B11	2.044	0.183	2.227	1.862	0.0392
B12	2.134	0.481	2.616	1.653	0.046
B13	1.081	0.676	1.757	0.405	0.0309
B21	2.261	2.572	4.834	-0.311	0.085
B22	1.932	2.569	4.501	-0.636	0.0791
B23	0.288	2.473	2.76	-2.185	0.0485
B24	1.384	2.135	3.519	-0.751	0.0619
B25	0.834	2.437	3.271	-1.603	0.0575
B26	1.204	1.025	2.229	0.179	0.0392
B27	1.528	2.745	4.273	-1.217	0.0751
B28	0.921	1.826	2.747	-0.906	0.0483
B29	0.532	1.404	1.936	-0.873	0.034
B31	2.543	1.839	4.383	0.704	0.0771
B32	1.908	1.343	3.251	0.564	0.0572
B41	2.104	2.356	4.46	-0.252	0.0784
B42	1.619	1.601	3.219	0.018	0.0566
B51	1.698	0.521	2.219	1.176	0.039
B52	2.419	0.247	2.667	2.172	0.0469

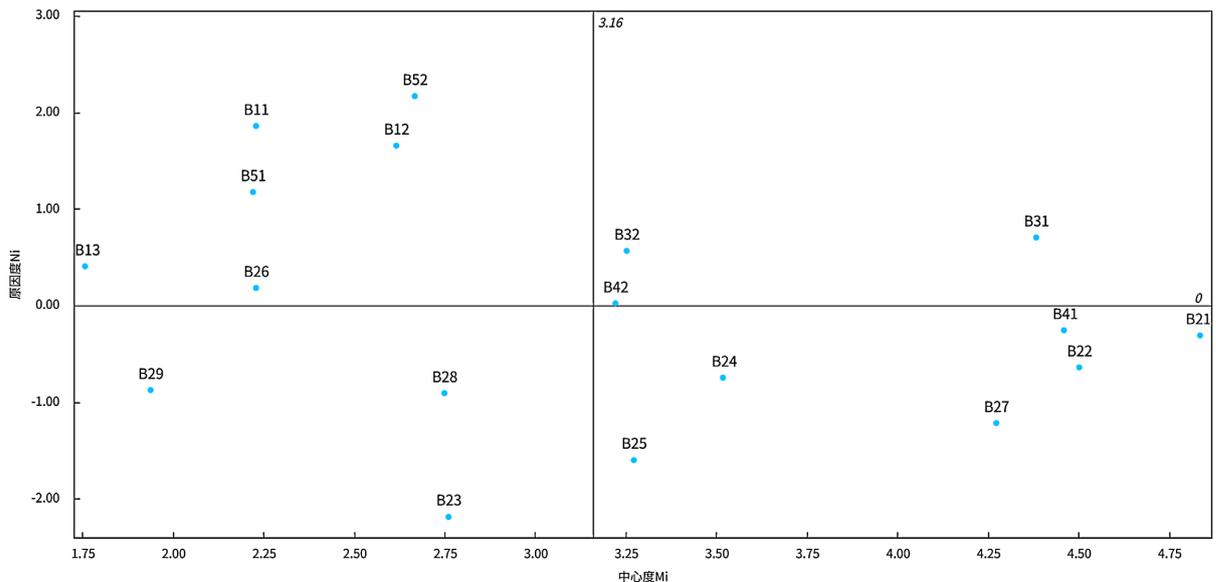


Figure 2. Centrality-causality diagram
图 2. 中心度 - 原因度图

中心度其意义表示为某影响因素在整体系统中的重要程度，中心度越高则证明该影响因素的重要程度越高。结合计算结果可以得出中心度排名前 5 的因素为：B21、B22、B41、B31、B27，这些因素在系统中处于重要地位，电解铝建设项目的一线管理人员应当对上述因素在现场成本风险管理中应当做到足够的重视。

原因度其意义表示为某影响因素对其它影响因素的影响情况，影响度正数时，表示该影响因素为原因因素，原因度为负数时，表示该影响因素为结果因素。结合原因度结果来看，其中 B52、B11、B12、B51、B31、B32、B13、B26、B42，上述 9 个影响因素的原因度为正数，说明以上 9 个影响因素为原因因素，对其它因素产生影响。B41、B21、B22、B24、B29、B28、B27、B25、B23，上述 9 个影响因素的原因度为负数，说明以上 9 个影响因素为结果因素，被其它因素影响。

3.2.3. 构建 ISM 模型

为进一步研究电解铝建设项目施工阶段各成本风险因素间的层次关系，依据 DEMATEL 模型计算得到的综合影响矩阵 T ，通过公式(6)计算得出邻接矩阵 X ；采用平均值与标准差相加之和法[27]取阈值 λ ，经计算综合影响矩阵 T ，平均值为 0.088，标准差为 0.067，因此阈值 $\lambda = 0.155$ ；将阈值 λ 代入公式(6)计算得到邻接矩阵 X ；通过公式(7)计算得到可达矩阵 M ，如表 4 所示。

Table 4. Reachability matrix m
表 4. 可达矩阵 M

	B11	B12	B13	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B31	B32	B41	B42	B51	B52
B11	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
B12	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
B13	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
B21	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
B22	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
B23	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B24	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
B25	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B26	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
B27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
B28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
B29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B31	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
B32	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
B41	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
B42	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
B51	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0
B52	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1

在表 4 可达矩阵 M 中，如果元素数字为 1，表示一个影响因素到另一个影响因素间存在路径；如果元素数字为 0，表示一个影响因素到另一个影响因素间不存在路径。其中可达矩阵中，若第 i 行的第 j 列

元素数字为 1，那么表示第 i 行的影响因素为第 j 列的影响因素的可达集合；若第 j 列的第 i 列元素数字为 1，那么表示第 j 列的影响因素为第 i 行的影响因素的先行集合。根据此计算可达集合、先行集合与交集，如表 5 所示。

Table 5. Reachability set, antecedent set and intersection set

表 5. 可达集合、先行集合与交集

	可达集合 R	先行集合 Q	交集 $A = R \cap Q$
B11	B11, B13, B21, B22, B23, B24, B25, B27, B31, B32, B41, B42	B11	B11
B12	B12, B21, B22, B23, B24, B25, B27, B31, B32, B41, B42	B12	B12
B13	B13, B21, B22, B23, B24, B25, B27, B31, B32, B41, B42	B11, B13	B13
B21	B21, B22, B23, B24, B25, B27, B31, B32, B41, B42	B11, B12, B13, B21, B22, B26, B31, B32, B41, B42, B51, B52	B21, B22, B31, B32, B41, B42
B22	B21, B22, B23, B24, B25, B27, B31, B32, B41, B42	B11, B12, B13, B21, B22, B26, B31, B32, B41, B42, B51, B52	B21, B22, B31, B32, B41, B42
B23	B23	B11, B12, B13, B21, B22, B23, B26, B27, B31, B32, B41, B42, B51, B52	B23
B24	B24, B27	B11, B12, B13, B21, B22, B24, B26, B27, B31, B32, B41, B42, B51, B52	B24
B25	B25	B11, B12, B13, B21, B22, B25, B26, B27, B31, B32, B41, B42, B51, B52	B25
B26	B21, B22, B23, B24, B25, B26, B27, B31, B32, B41, B42	B26	B26
B27	B27	B11, B12, B13, B21, B22, B24, B26, B27, B31, B32, B41, B42, B51, B52	B27
B28	B28	B28, B52	B28
B29	B29	B29, B52	B29
B31	B21, B22, B23, B24, B25, B27, B31, B32, B41, B42	B11, B12, B13, B21, B22, B26, B31, B32, B41, B42, B51, B52	B21, B22, B31, B32, B41, B42
B32	B21, B22, B23, B24, B25, B27, B31, B32, B41, B42	B11, B12, B13, B21, B22, B26, B31, B32, B41, B42, B51, B52	B21, B22, B31, B32, B41, B42
B41	B21, B22, B23, B24, B25, B27, B31, B32, B41, B42	B11, B12, B13, B21, B22, B26, B31, B32, B41, B42, B51, B52	B21, B22, B31, B32, B41, B42
B42	B21, B22, B23, B24, B25, B27, B31, B32, B41, B42	B11, B12, B13, B21, B22, B26, B31, B32, B41, B42, B51, B52	B21, B22, B31, B32, B41, B42
B51	B21, B22, B23, B24, B25, B27, B31, B32, B41, B42, B51	B51	B51
B52	B21, B22, B23, B24, B25, B27, B28, B29, B31, B32, B41, B42, B52	B52	B52

对表 5 进行逐层层级分解，得到对 18 个影响因素进行分级排序，根据表 5 可达集合与先行集合结果建立各影响因素间的路径。因存在影响因素间通过下一层级或跨越多个层级直接进行传递，也可通过中间层级建立间接传递路径，所以在绘制影响因素层级关系示意图时，可建立间接传递路径的不再进行重复绘制。如图 3 所示。

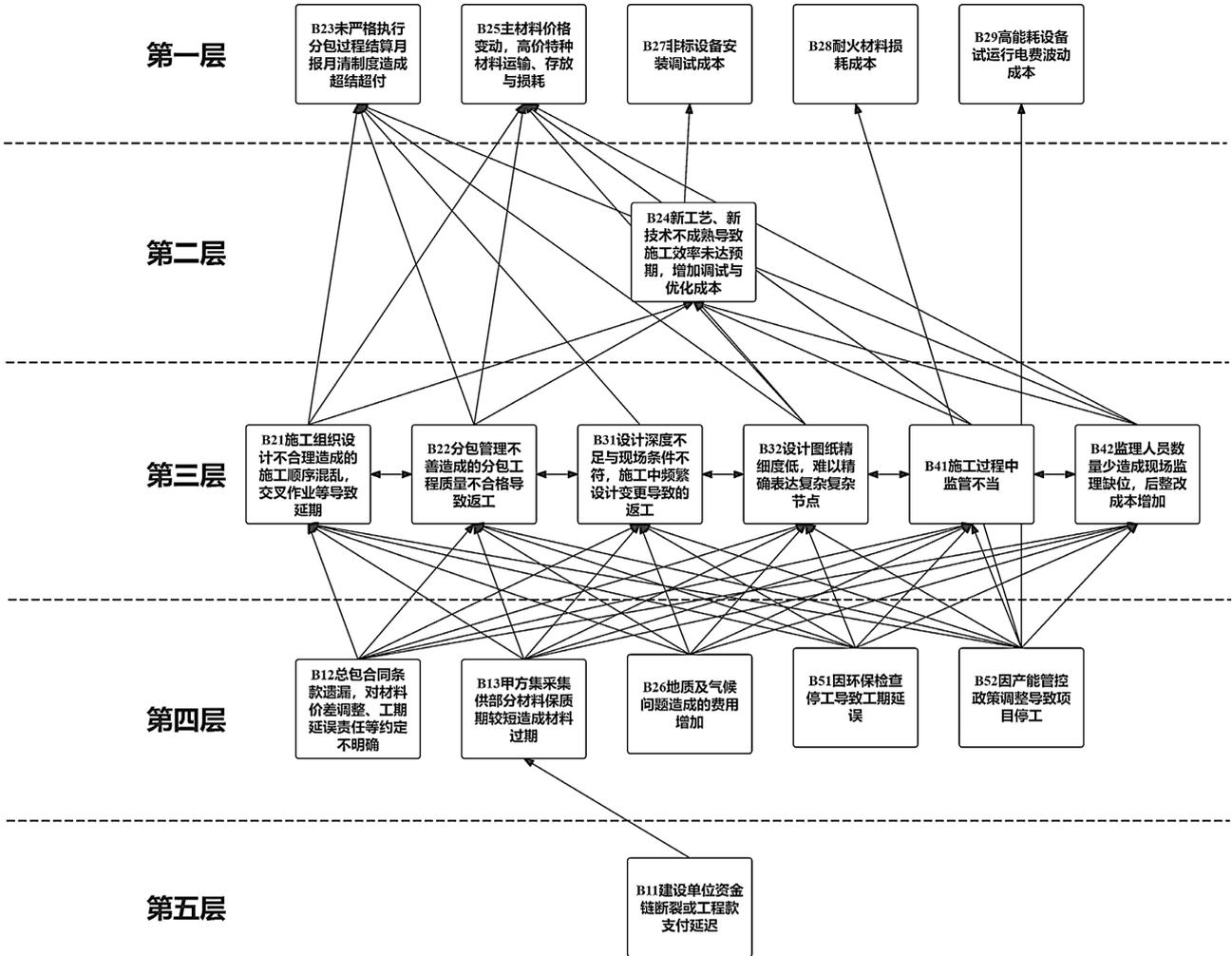


Figure 3. Schematic diagram of hierarchical relationship of influencing factors
 图 3. 影响因素层次关系示意图

3.2.4. 构建 DEMATEL-ISM 模型

根据中心度计算结果，得出各影响因素的重要程度，通过影响因素右侧圆圈中左侧序号按照从大到小进行排序。根据各影响因素划分结果，通过影响因素右侧圆圈中右侧字母进行表示，P 代表原因因素，Q 代表结果因素。依据图 3 进一步将五个层级划分为三大区间，第一层为直接影响因素，第二、三、四层为间接影响因素，第三层为根本影响因素。最终利用 DEMATEL-ISM 模型表示电解铝建设项目施工阶段成本风险因素间的重要程度及相互传递关系。因影响因素存在跨层级的直接传递，为保证层级结构更加清晰直观，对此引入虚节点。如图 4 所示。

3.3. 基于 DEMATEL-ISM 模型结果分析

通过 DEMATEL-ISM 模型的构建，电解铝建设项目施工阶段成本风险的 18 个影响因素被划分为五个层级三大区间，并依据原因度的正负值区分为原因因素与结果因素。通过层级的划分展示了各成本风险影响因素之间的传导路径，也明确了各个影响因素在成本风险中的作用。根据图 4 可得，原因因素大多分布于中层与中下层。B11 属于原因因素，且处于最底层，因此该因素为电解铝建设项目施工阶段成本风险的根本影响因素。其余原因因素分布在第三层与第四层，属于间接影响因素，在传递链中属于

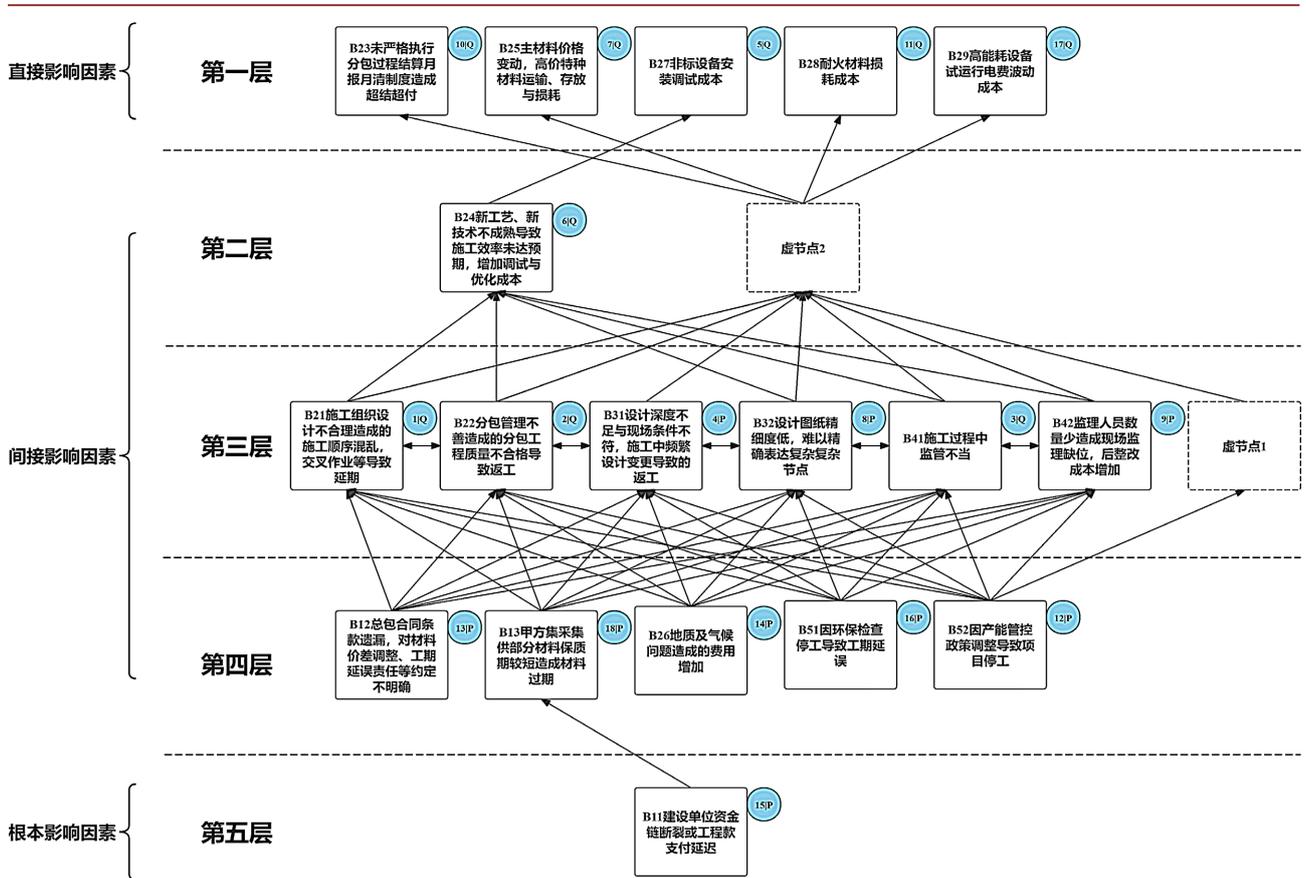


Figure 4. Diagram of the DEMATEL-ISM Model
图 4. DEMATEL-ISM 模型图

承上启下的地位。B23、B25、B27、B28、B29i 这些因素为直接影响因素，处于传递链的最顶端，表明电解铝建设项目成本风险会在这些因素上直接体现，同时这些因素为结果因素，被其他因素所影响；B21、B22、B24 三个影响因素为间接影响因素，处于传递链的中间环节，同时又为结果因素，表明这三个因素既被下层或同层原因因素所影响，同时又可传递至上层影响因素。

根据中心度排名，排名前四的影响因素为 B21、B22、B41、B31、B27 上述四个影响因素皆处于第三层，处于间接影响因素这一大区间内，同时根据表 3 可知上述五个影响因素的中心度均在 4.0 以上，在间接影响因素这一大区间内形成了高中心度风险集。其中中心度最高的影响因素为 B21，这不仅也因此表明该影响因素处于电解铝建设项目施工风险的核心地位，而且在层级上处于一个传递路径的核心，其影响贯穿所有层级。

4. 成本风险防范对策

4.1. 保障建设单位资金按期支付

B11 建设单位资金链断裂或工程款支付延迟是电解铝项目施工阶段成本风险的根本影响因素。对此通过细化合同条款、明确付款节点与条件，建立全过程资金跟踪机制来保障建设单位资金按期支付。可采用预付款、过程进场付款、进度报量付款、竣工结算付款的分阶段支付结构，确保资金流与工程进度相匹配。同时，可设立专门经营计划部，定期编制资金使用计划，跟踪业主支付动态，及时预警并协调解决支付延迟问题。此外，也可通过加强甲供材核销管理、完善结算资料、提前完成工程量确认等措施，

缩短结算周期，降低因资金滞后引发的窝工、材料断供等连锁风险。

4.2. 加强施工组织设计管理

B21 施工组织设计不合理造成的施工顺序混乱，交叉作业等导致延期是中心度最高的因素，表明其在电解铝建设项目施工阶段成本风险系统中处于重要地位。施工组织设计的科学性直接决定了电解铝项目施工效率与成本控制水平。为避免因此情况造成的成本风险损失，可将土建、钢结构、设备安装三大工序在空间与时间上合理错位布置，最大限度减少交叉干扰与窝工。还可引入 BIM 技术进行可视化交底与工序模拟，优化复杂节点施工路径，提前识别潜在冲突。针对地质复杂、雨季长、场地分散等不利条件，应当动态调整施工总平面布置，合理规划材料堆场、临时道路与加工区，减少二次倒运与机械闲置。通过编制周计划、月计划并与业主投产节点对齐，建立生产例会制度，及时纠偏。精细化、动态化的施工组织设计，是应对电解铝项目体量大、专业多、工期紧等风险的关键手段。

4.3. 重点关注直接成本损失

直接成本损失是电解铝项目施工阶段成本风险的最直观体现，B23、B25、B27、B28、B29 为直接影响因素，直接体现成本损失。对于未严格执行分包过程结算月报月清制度造成超结超付，应严格推行月报月清机制，按合同约定审核工程量与结算资料，杜绝超结超付现象，并将甲供材核销与分包结算挂钩，实现风险有效转移；针对主材料价格变动，高价特种材料运输、存放与损耗，如特种油漆、不锈钢天沟等高价材料可采用分批采购、定尺供货、专用存放区管理，结合过磅计量与影像留底，严控损耗，对价格波动较大的钢材，择机采购并利用平台竞价降低采购成本；对于非标设备安装调试成本，可提升施工工艺，减少高空作业与返工来避免，也可通过专项方案优化与工序穿插，缩短调试周期，降低人机电投入；针对耐火材料损耗成本可加强现场存放管理，防止受潮损坏；对于高能耗设备试运行电费波动成本，可结合当地电价政策，合理安排试运行时段，通过优化调试流程、提前完成绝缘测试与系统联调，缩短高负荷运行时间，控制电费支出。

5. 结论

本文运用 DEMATE-ISM 模型对电解铝建设项目施工阶段成本风险进行了系统分析并得到以下结论：(1) 结合文献与访谈形成了 5 个相关方，18 个风险因素的电解铝建设项目施工阶段成本风险因素清单。(2) 运用 DEIATEL-ISM 模型对 18 个风险因素进行分析，得到各风险因素的重要程度，划分出原因因素与结果因素，并将其划分为三大区间、五个层级。(3) 对依据分析结果对成本风险管理提出相应对策。

但本文针对电解铝建设项目施工阶段成本风险的风险因素选取不够全面。本文通过相关文献、访谈得到的风险因素属于高频风险因素，但现实施工过程中依旧存在其他低频因素或隐形因素，这些因素因其低频性与隐藏性而被本文忽略，却依旧对电解铝建设项目的成本造成影响。

参考文献

- [1] 孙林贤, 董文貌, 刘咏杭. 我国电解铝工业现状及未来发展[J]. 轻金属, 2015(3): 1-6.
- [2] 毛亮, 刘畅. 基于模糊综合评价法的 PPP 项目投资风险分析[J]. 会计之友, 2018(15): 94-100.
- [3] 何锦洲. 建筑施工企业成本核算的优化[J]. 山西财经大学学报, 2020, 42(S1): 39-40+43.
- [4] 熊谦, 张建同, 刘亮, 等. 业主视角下大型基础设施项目群建设管理[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2025, 65(1): 80-91.
- [5] Ding, X., Liu, K. and Shi, S. (2020) Risk Assessment of Strategic Cost Management Based on Grey Model for Prefabricated Buildings. *International Journal of Performability Engineering*, **16**, 1478-1487. <https://doi.org/10.23940/ijpe.20.09.p17.14781487>

- [6] 鹿乘, 洪文霞, 李涵, 等. 基于云模型的装配式建筑成本风险评价研究[J]. 混凝土, 2023(7): 145-150+160.
- [7] Tatari, A. (2023) Simulating Cost Risks for Prefabricated Construction in Developing Countries Using Bayesian Networks. *Journal of Construction Engineering and Management*, **149**, Article ID: 04023037. <https://doi.org/10.1061/jcemd4.coeng-13259>
- [8] 周德群, 章玲. 集成 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次划分研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11(2): 20-26.
- [9] 朱宾梅, 颜梦颖, 张浩. 基于神经网络工程项目成本风险分析与评价[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2012, 44(5): 744-748.
- [10] 戴国华. 中央建筑企业降杠杆减负债的现状、成因分析及相关建议(下) [J]. 财务与会计, 2019(5): 40-43.
- [11] 胡靖堂, 太艳斌, 太树刚. 工程项目成本管理及风险控制——以昆明某教学楼为例[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2023, 45(S1): 398-406.
- [12] 周兰庭, 袁志美, 徐长华, 等. 基于改进云模型的水利工程项目成本风险管理研究[J]. 水电能源科学, 2019, 37(4): 152-154+196.
- [13] 荀志远, 张丽敏, 赵资源, 等. 基于组合赋权云模型的装配式建筑成本风险评价[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(6): 8-13.
- [14] Bobrova, N., Ivanov, A., Kamenskikh, D. and Plyusnina, L. (2021) Management of the Investment and Construction Project Cost under Conditions of Risk and Uncertainty. *SHS Web of Conferences*, **116**, Article No. 00049. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202111600049>
- [15] Foroutan Mirhosseini, A., Pitera, K., Odeck, J. and Welde, M. (2022) Sustainable Project Management: Reducing the Risk of Cost Inaccuracy Using a PLS-SEM Approach. *Sustainability*, **14**, Article No. 960. <https://doi.org/10.3390/su14020960>
- [16] Alnaser, A.A., Al-Gahtani, K.S. and Alsanabani, N.M. (2024) Building Information Modeling Impact on Cost Overrun Risk Factors and Interrelationships. *Applied Sciences*, **14**, Article No. 10711. <https://doi.org/10.3390/app142210711>
- [17] 孙凌志, 张北雁. 工程总承包项目合同价款调整技术研究[J]. 建筑经济, 2020, 41(5): 77-81.
- [18] 王腾飞, 王运宏, 沈文欣, 等. 基于伙伴关系的国际 EPC 项目风险管理[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(2): 242-249.
- [19] Li, X., Jia, X. and Huang, M. (2024) Analysis of Influencing Factors of Construction Cost Based on Building Information Model. *Education Reform and Development*, **6**, 257-262. <https://doi.org/10.26689/erd.v6i3.6585>
- [20] 吕航. 某电解铝总承包项目管理工作小结[J]. 轻金属, 2018(8): 59-61+66.
- [21] 段斌斌. 晋西北地区某电解铝项目冬期施工过程管控实践及效果[J]. 轻金属, 2021(5): 55-59.
- [22] 李宏杰. 建筑施工企业的成本风险管理[J]. 山西财经大学学报, 2022, 44(S1): 33-34
- [23] 刘燕平, 王作文, 蒲万丽. 基于组合赋权-证据理论-模糊综合评价法的 EPC 模式下装配式建筑工程成本风险评价[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(11): 4562-4571.
- [24] Wang, J. (2020) Construction of Risk Evaluation Index System for Power Grid Engineering Cost by Applying WBS-RBS and Membership Degree Methods. *Mathematical Problems in Engineering*, **2020**, Article ID: 6217872. <https://doi.org/10.1155/2020/6217872>
- [25] 盖彤彤, 于德湖, 孙宝娣, 等. BIM 与人工智能融合应用研究进展[J]. 建筑科学, 2020, 36(6): 119-126.
- [26] 刘雷, 许长青, 毛晔. 水利水电 EPC 项目业主发包前风险评价[J]. 人民黄河, 2023, 45(5): 133-136+142.
- [27] 张洋杰, 周瑶. 基于集成 DEMATEL-ISM 方法的煤矿运输事故致因因素分析与评价[J]. 中国煤炭, 2024, 50(10): 40-47.