

集成 DEMATEL/ISM 的钢厂复杂系统 安全影响因素研究

段宇航¹ 董绍华¹ 宋 顶¹ 张耀元²

(1. 中国石油大学(北京) 安全与海洋工程学院, 北京 102249; 2. 中国民航大学 计算机科学与技术学院, 天津 300300)

摘 要: 为研究钢厂安全复杂系统影响因素之间的关系, 运用决策实验室法和解释结构模型法, 分析导致钢厂事故发生的 15 个致因因素, 确定各因素的影响度、被影响度、中心度和原因度, 综合分析各因素影响关系, 并构建复杂系统模型。实证结果表明: 在导致钢厂事故发生的 15 个因素中, 安全文化薄弱、职工知识水平低、职工工种安排不合理、生产设备设施落后、管理规范不健全、安全管理制度不完善和安全管理落实到位为原因因素, 对其他因素有较大影响; 人为失误、人机信息交互受阻、设备能量交互受阻、机器故障、防护设施失效、防尘及救护设备不到位、劳动防护用品缺失、作业环境艰苦, 容易被其他因素影响; 安全文化薄弱、安全管理制度不完善、安全管理落实到位、管理规范不健全和人为失误在系统中中心度相对较大, 是钢厂安全管理工作的重点。

关键词: 复杂系统; 事故致因; 决策实验室法; 解释结构模型法; 钢厂

中图分类号: X923

DOI: 10. 3963/j. issn. 2095 - 3852. 2020. 03. 005

炼钢厂具有工作人员基数大、岗位多、工种多、炼钢工序复杂、危险有害因素多等特点, 一旦发生事故, 对社会影响很大, 因此需要对炼钢厂的危险有害因素及其事故致因因素进行系统分析^[1]。近年来, 我国炼钢企业事故频发, 如 2012 年 2 月鞍钢重型机械有限责任公司铸钢厂的砂型型腔发生喷爆事故, 造成 13 人死亡, 1 人失踪, 17 人受伤^[2-3]; 据不完全统计, 2017 年我国共发生 13 起钢厂事故, 共 16 人死亡, 7 人受伤, 造成了巨大的经济损失; 2019 年南昌市青山湖区方大特钢科技股份有限公司发生 3 起事故。钢厂安全事故频繁发生是由于钢厂工作人员和机械设备密集, 钢铁加工环节复杂, 危险有害因素较多, 在钢厂事故调查中, 只是将事故归因为人员失误和设备的故障或缺陷, 并未深层次探索事故原因和相关因果关系^[4]。

与层次分析法相比, 决策实验室法(decision making trial and evaluation laboratory, DEMATEL)

不仅可以考虑两两因素之间的关系, 还考虑了所有因素之间的间接影响关系, 便于分析事故发生原因, 排除安全隐患, 有效预防事故的发生。解释结构模型法(interpretative structural modeling, ISM) 可将复杂系统分解为若干子系统, 是以定性分析为主的概念模型, 可将模糊不清的关系、思想等转化为直观清晰的多级递阶结构模型^[5-6]。

在 DEMATEL - ISM 模型实践方面, 申霞等^[7]运用 DEMATEL - ISM 模型, 总结了煤矿工人违章行为的关键影响因素及各因素的综合影响关系, 构建多级递阶结构模型, 对从根源上预防和控制煤矿工人的违章行为有重要意义。张兆宁等^[8]以某终端区管制系统为实验对象, 对该系统进行了风险分析, 结果验证了 DEMATEL - ISM 模型的有效性。张学睦等^[9]基于 DEMATEL - ISM 模型, 建立了影响煤矿安全管理指标体系的系统结构模型, 并提出安全管理的有效措施。黎新华等^[10]通过 DEMATEL 和 ISM 融合筛选出城市轨道交通

收稿日期: 2020 - 01 - 26.

作者简介: 段宇航(1996 -), 女, 山西晋中人, 中国石油大学(北京) 安全与海洋工程学院硕士研究生, 主要研究方向为油气储运安全、安全工程。

通讯作者: 董绍华(1972 -), 男, 山东寿光人, 中国石油大学(北京) 安全与海洋工程学院教授, 主要研究方向为油气储运安全、安全工程。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0805804); 国家自然科学基金项目(51874322); 中国石油天然气股份有限公司重大科技基金项目(2020 - 05)。

车站运营安全评价关键指标。LI等^[11]采用DEMATEL-ISM相结合的方法进行城市埋地燃气管网的风险研究,建立了由因果图表示的层次网络模型,清晰地确定了各种事故致因因素与贝叶斯网络结构之间的耦合关系,确定了预防相关事故的优先行动。

为此,笔者集成决策实验室法和解释结构模型法(DEMATEL-ISM),深入探究炼钢厂事故致因因素之间的因果关系,计算各致因因素的影响度、被影响度、中心度和原因度,并构建钢厂事故复杂系统模型,以期对钢厂复杂事故熵模型提供参考,为钢厂安全管理提供指导。

1 集成 DEMATEL - ISM 方法

决策实验室法(DEMATEL)是在矩阵论和图论原理的基础上,对系统各因素进行分析,得出各因素之间存在的逻辑关系,并绘制初始直接影响矩阵,计算出各因素之间的被影响度、影响度、中心度和原因度^[12]。解释结构模型法(ISM)是一种以定性分析为主的方法,是定性表示系统构成要素及其内在相互依赖和制约的模型。集成DEMATEL-ISM方法则是先确定复杂系统安全事故致因因素,并通过专家打分得出其初始直接影响矩阵;然后计算得出综合影响矩阵及各事故致因因素的影响度、被影响度、中心度和原因度;最后根据综合影响矩阵,利用ISM,得出事故系统模型。集成DEMATEL-ISM方法流程图如图1所示。

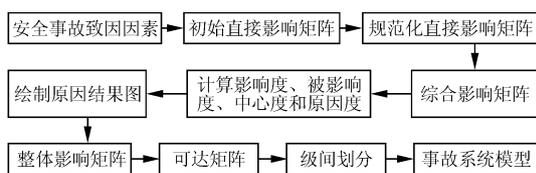


图1 集成 DEMATEL - ISM 方法流程图

2 钢厂影响因素计算与分析

2.1 钢厂安全管理体系构建

在钢厂安全管理体系中,“人”是由钢厂企业人员构成,可分为管理者(车间各厂长、组长、安全员等)、受管理者(作业工人、调度员、质检员等);“机”指机械设施、电气设施等;“环”指环境;“管”指安全管理过程。因此,笔者通过钢厂工伤事故统计分析和相关专家的访谈,应用预先危险性分析和安全检查表法,将钢厂安全事故致因因素分为人员、机器、环境和管理4类共15个

因素,具体为人为失误 F_1 、安全文化薄弱 F_2 、职工知识水平低 F_3 、职工工种安排不合理 F_4 、机器设备故障 F_5 、防护设施失效 F_6 、生产设备设施落后 F_7 、防尘及救护设备不到位 F_8 、作业环境艰苦 F_9 、设备能量交互受阻 F_{10} 、人机信息交互受阻 F_{11} 、劳动防护用品缺失 F_{12} 、管理规范不健全 F_{13} 、安全管理制度不完善 F_{14} 、安全管理落实不到位 F_{15} ,具体如图2所示。

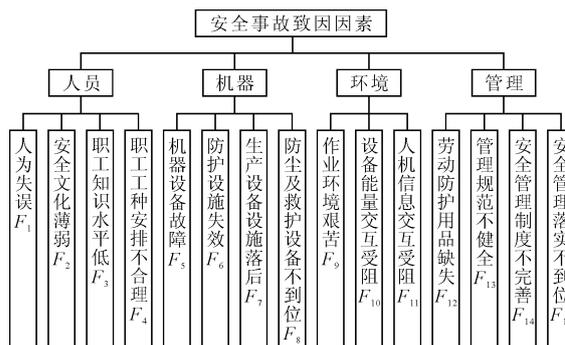


图2 钢厂事故致因因素分类

2.2 构建直接影响矩阵

为了清晰表述不同因素之间的相互影响,笔者采用0、1、2、3、4五级标度,邀请相关专家对各因素进行打分并求平均值,得出初始直接影响矩阵 B ,如表1所示。其中0表示无影响,1表示影响弱,2表示影响一般,3表示影响较强,4表示影响强。

2.3 计算规范化直接影响矩阵 C

按照式(1)对初始直接影响矩阵进行规范化处理,得到规范化直接影响矩阵 C 。

$$C = \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n \beta_{ij}} B \quad (1)$$

其中, $\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n \beta_{ij}$ 为初始直接影响矩阵 B 的行和最大值。

2.4 计算综合影响矩阵 T

直接影响矩阵 C 只考虑了钢厂事故致因因素中两两因素之间的直接影响,而未考虑因素间的间接影响和由一个事故因素变化而引起的波及效应。综合影响矩阵是钢厂中各致因因素直接影响和间接影响的累加,从而可以确定每个致因因素对钢厂安全事故的最终影响矩阵,综合影响矩阵的计算式如式(2)所示。当 $n \rightarrow \infty$ 时, $C^{n-1} \rightarrow 0$,综合影响矩阵可用式(3)近似计算。由式(3)计算得到钢厂致因因素的综合影响矩阵 T ,如表2所示。

表 1 初始直接影响矩阵 B

| 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_1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| F_2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 3 | 4 | 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| F_3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| F_4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| F_7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| F_8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| F_{10} | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_{11} | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| F_{12} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_{13} | 3 | 3 | 2 | 0 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0 | 3 | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| F_{14} | 3 | 4 | 2 | 0 | 3 | 4 | 1 | 3 | 0 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 3 |
| F_{15} | 4 | 4 | 2 | 0 | 3 | 4 | 1 | 3 | 0 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 |

表 2 综合影响矩阵 T

| 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_1 | 0.009 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.071 | 0.065 | 0.000 | 0.041 | 0.006 | 0.104 | 0.102 | 0.036 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F_2 | 0.129 | 0.050 | 0.058 | 0.005 | 0.133 | 0.169 | 0.140 | 0.165 | 0.026 | 0.146 | 0.148 | 0.109 | 0.142 | 0.142 | 0.151 |
| F_3 | 0.110 | 0.044 | 0.009 | 0.001 | 0.023 | 0.026 | 0.009 | 0.021 | 0.003 | 0.029 | 0.059 | 0.016 | 0.039 | 0.040 | 0.042 |
| F_4 | 0.138 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.044 | 0.044 | 0.000 | 0.010 | 0.124 | 0.029 | 0.116 | 0.017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F_5 | 0.038 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.013 | 0.033 | 0.000 | 0.038 | 0.003 | 0.129 | 0.100 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F_6 | 0.007 | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.002 | 0.004 | 0.000 | 0.062 | 0.038 | 0.003 | 0.006 | 0.033 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F_7 | 0.018 | 0.004 | 0.002 | 0.002 | 0.102 | 0.072 | 0.002 | 0.075 | 0.068 | 0.085 | 0.083 | 0.042 | 0.031 | 0.002 | 0.003 |
| F_8 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F_9 | 0.096 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.013 | 0.039 | 0.000 | 0.010 | 0.006 | 0.073 | 0.073 | 0.067 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F_{10} | 0.034 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.065 | 0.004 | 0.000 | 0.034 | 0.001 | 0.012 | 0.040 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F_{11} | 0.033 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.035 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | 0.002 | 0.038 | 0.007 | 0.032 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F_{12} | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.033 | 0.000 | 0.033 | 0.063 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F_{13} | 0.140 | 0.115 | 0.076 | 0.004 | 0.112 | 0.142 | 0.050 | 0.114 | 0.017 | 0.151 | 0.180 | 0.096 | 0.023 | 0.081 | 0.086 |
| F_{14} | 0.145 | 0.146 | 0.077 | 0.005 | 0.144 | 0.177 | 0.054 | 0.151 | 0.020 | 0.158 | 0.158 | 0.099 | 0.056 | 0.027 | 0.117 |
| F_{15} | 0.165 | 0.138 | 0.073 | 0.005 | 0.138 | 0.169 | 0.051 | 0.144 | 0.019 | 0.152 | 0.152 | 0.094 | 0.053 | 0.053 | 0.027 |

$$T = C + C^2 + \dots + C^n = \sum_{i=1}^n C^i \quad (2)$$

$$T = C(I - C)^{-1} \quad (3)$$

其中 I 为单位矩阵。

2.5 计算影响度、被影响度、原因度和中心度

在综合影响矩阵 T 中,对第 i 行元素求和可得到该行对应元素的影响度 f_i ,对第 j 列元素求和可得到该列对应元素的被影响度 e_j ,中心度由该对应元素的影响度 f_i 与被影响度 e_j 相加得到,原因度由该对应元素的影响度 f_i 与被影响度 e_j 相减得到^[13-14]。根据钢厂致因因素的综合影响矩阵 T 计算出各致因因素的影响度、被影响度、原因度和中心度,如表 3 所示。

其中 影响度表示该因素对其他所有因素的综合影响度,包括直接影响和间接影响两方面;被

表 3 各致因因素的影响度、被影响度、原因度和中心度

| 因素 | 影响度 | 被影响度 | 中心度 | 原因度 | 中心度排序 | 因素属性 |
|----------|-------|-------|-------|--------|-------|------|
| F_1 | 0.434 | 1.073 | 1.507 | -0.639 | 5 | 结果因素 |
| F_2 | 1.713 | 0.497 | 2.210 | 1.216 | 1 | 原因因素 |
| F_3 | 0.471 | 0.295 | 0.766 | 0.176 | 14 | 原因因素 |
| F_4 | 0.523 | 0.060 | 0.583 | 0.463 | 15 | 原因因素 |
| F_5 | 0.361 | 0.896 | 1.257 | -0.535 | 8 | 结果因素 |
| F_6 | 0.186 | 0.982 | 1.168 | -0.796 | 9 | 结果因素 |
| F_7 | 0.592 | 0.306 | 0.898 | 0.286 | 11 | 原因因素 |
| F_8 | 0.042 | 0.903 | 0.945 | -0.861 | 10 | 结果因素 |
| F_9 | 0.378 | 0.426 | 0.804 | -0.048 | 13 | 结果因素 |
| F_{10} | 0.193 | 1.116 | 1.309 | -0.923 | 7 | 结果因素 |
| F_{11} | 0.156 | 1.232 | 1.388 | -1.076 | 6 | 结果因素 |
| F_{12} | 0.151 | 0.657 | 0.808 | -0.506 | 12 | 结果因素 |
| F_{13} | 1.387 | 0.344 | 1.731 | 1.043 | 4 | 原因因素 |
| F_{14} | 1.536 | 0.345 | 1.881 | 1.191 | 2 | 原因因素 |
| F_{15} | 1.435 | 0.424 | 1.859 | 1.011 | 3 | 原因因素 |

影响度表示该因素受其他所有因素的综合影响度;中心度表示该因素在所有因素中的重要程度,中心度越大代表该因素越重要;原因度表示该因素对其他因素的纯粹影响,若原因度为正,表明其会对其他因素产生较大影响,为原因因素,若原因度为负,表明其他因素会对该因素产生影响,为结果因素。钢厂事故致因因素因果图如图3所示。

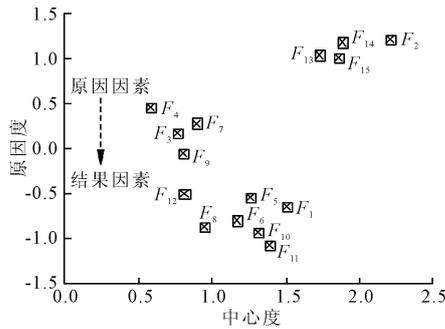


图3 钢厂致因因素因果图

由图3可知, $F_2, F_3, F_4, F_7, F_{13}, F_{14}, F_{15}$ 为原

因因素,是导致其他因素发生的原因。而 $F_1, F_5, F_6, F_8, F_9, F_{10}, F_{11}, F_{12}$ 是上述7类基本原因因素的外在表现,也就是结果因素。从钢厂致因因素因果图可以清晰地看出原因因素和结果因素,但是无法确定各类因素之间的逻辑影响关系,因此通过引入ISM模型来确定各个因素之间的逻辑影响关系。

2.6 解释结构模型(ISM)

利用DEMATEL方法得到的综合影响矩阵,加上因素对自身的影响 H 则可得到整体影响矩阵 $H = [h_{ij}]_{n \times n} = I + T$ 。通过给定阈值 λ ,即可利用整体影响矩阵 H ,计算可达矩阵 $K = [k_{ij}]_{n \times n}$,如式(4)所示。

$$k_{ij} = \begin{cases} 1 & h_{ij} \geq \lambda \\ 0 & h_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (4)$$

当 λ 取值不同时,构造出的可达矩阵也不相同。参考文献[7],取 $\lambda = 0.05$,进而得到可达矩阵 K ,如表4所示。

表4 可达矩阵K

| 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_1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| F_3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_4 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| F_{10} | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_{11} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F_{12} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| F_{13} | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| F_{14} | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| F_{15} | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

根据表4进行层级划分,根据式(5)建立多级递阶ISM,得到第一层因素集合为 $\{F_8, F_{10}, F_{11}, F_{12}\}$;第二层因素集合为 $\{F_5, F_6\}$;第三层因素集合为 $\{F_1, F_7, F_9\}$;第四层因素集合为 $\{F_3, F_4\}$;第五层因素集合为 $\{F_2, F_{13}, F_{14}, F_{15}\}$ 。根据划分结果绘制复杂系统结构层次图,如图4所示。

$$R_i = R_i \cap S_i \quad (5)$$

式中: R_i 为事故因素的可达集合; S_i 为事故因素的前因集合。

从图4可以看出, $F_2, F_{13}, F_{14}, F_{15}$ 是引起事故的根层影响因素, $F_8, F_{10}, F_{11}, F_{12}$ 是事故发生的表

层因素。事故的发生看似是由表层因素 $F_8, F_{10}, F_{11}, F_{12}$ 引起的,实际上却受更深层次的因素影响,同时事故复杂系统结构层次图也反映出多个因素可以对多个因素产生影响,克服了事故树中单一影响的不足。

3 钢厂安全管理影响因素的结果分析

(1) 中心度分析。在钢厂安全管理体系中,安全文化薄弱 F_2 、安全管理制度不完善 F_{14} 、安全管理落实到位 F_{15} 、管理规范不健全 F_{13} 、人为失误 F_1 的中心度较高。其中,安全文化薄弱在钢厂

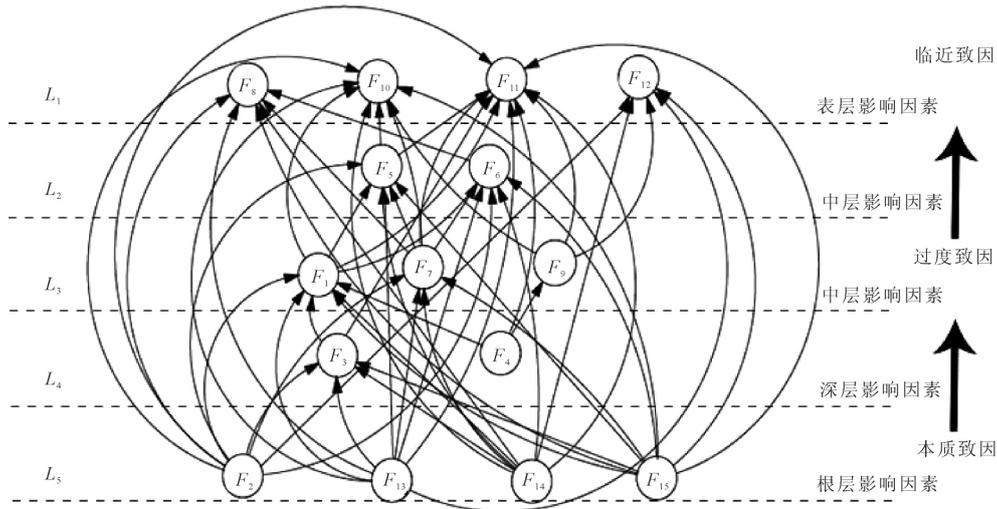


图 4 事故复杂系统结构层次图

安全管理体系中占据着重要地位,钢厂中人的不安全因素、物的不安全状态、工作环境恶劣、安全管理的不到位归根结底是由于企业管理者和工人安全文化薄弱。因此,人只有具备安全意识,才会有安全行为,进而才能保证安全。

在钢厂事故中,管控事故直接致因因素或临近致因因素时,事故隐患的清除不能立竿见影,但中心度大的因素对其他致因因素有明显的影响。因此,保障钢厂的安全,应做好中心度大的因素的管理工作。

(2) 原因度分析。在钢厂安全管理体系中,7 个原因因素按重要性依次排序为:安全文化薄弱 F_2 、安全管理制度不完善 F_{14} 、安全管理落实不到位 F_{15} 、管理规范不健全 F_{13} 、生产设备设施落后 F_7 、职工知识水平低 F_3 、职工工种安排不合理 F_4 。根据事故致因理论,原因因素属于钢厂安全事故发生的间接原因及根本原因,故应足够重视以上因素,采取有效措施,从根本上杜绝事故的发生。作业环境艰苦 F_9 、劳动防护用品缺失 F_{12} 、机器故障 F_5 、人为失误 F_1 、防护设施失效 F_6 、防尘及救护设备不到位 F_8 、设备能量交互受阻 F_{10} 、人机信息交互受阻 F_{11} 的原因度小于 0,属于结果因素,受其他因素影响较大,是钢厂安全事故发生的直接原因。

综上所述,表层影响因素受深层影响因素影响较大,因此需加强对原因因素的重视,以有效预防事故的发生。

4 结论

(1) 笔者采用集成 DEMATEL - ISM 方法对钢厂安全复杂系统影响因素进行分析,将钢厂安

全事故致因因素分为人员、机器、环境、管理 4 个一级指标,以及人为失误、安全文化薄弱、职工知识水平低、职工工种安排不合理、机器设备故障、防护设施失效、生产设备设施落后、防尘及救护设备不到位、作业环境艰苦、设备能量交互受阻、人机信息交互受阻、劳动防护用品缺失、管理规范不健全、安全管理制度不完善、安全管理落实不到位 15 个二级指标。

(2) 人为失误、管理规范不健全、安全管理落实不到位、安全文化薄弱、安全管理制度不完善中心度大,对多重致因因素可产生复杂的影响。因此,在钢厂安全管理工作中应重点管理中心度大的致因因素。

(3) 根据钢厂安全复杂系统影响因素中各因素之间的影响关系,将其分别归为原因因素和结果因素。结果因素受原因因素影响较大,故加强对原因因素的重视,能够有效预防事故的发生。

参考文献:

- [1] 宓海东. 钢厂机械伤害事故的原因分析及对策研究[J]. 科技展望, 2014(9): 122.
- [2] 汪飞. 从全国炼铁厂工伤事故统计看安全管理[J]. 东方企业文化, 2012(20): 168.
- [3] 朱晋英. 太钢 2000 年度和“九五”期间工伤事故统计分析[J]. 工业安全与环保, 2001, 27(12): 28 - 30.
- [4] 杨自华. 炼钢厂工伤事故统计分析及其对策[J]. 中国职业安全卫生管理体系认证, 2002(4): 43 - 47.
- [5] 王朋, 方向, 朱海峰, 等. 基于 ISM 的电力行业技术效率影响因素分析[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2016, 38(6): 590 - 593.
- [6] 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.
- [7] 申霞, 夏越, 杨校毅, 等. 集成 DEMATEL/ISM 的煤矿工人违章行为影响因素研究[J]. 中国安全科学学报 2015, 25(9): 145-151.
- [8] 张兆宁, 李文雅. 终端区管制系统风险因素分析的 DEMATEL-ISM 模型[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(10): 86-91.
- [9] 张学睦, 闫淑军, 姚庆国. 基于 DEMATEL 方法和 ISM 模型的煤矿安全管理评价体系研究[J]. 煤炭经济研究 2011, 31(6): 82-85.
- [10] 黎新华, 李俊辉. 基于 DEMATEL 和 ISM 融合的城市轨道交通车站运营安全评价方法研究[J]. 铁道运输与经济 2018, 40(7): 116-121.
- [11] LI F, WANG W, DUBLJEVIC S, et al. Analysis on accident-causing factors of urban buried gas pipeline network by combining DEMATEL, ISM and BN methods[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2019(61): 49-57.
- [12] 郭泳亨, 龚传信, 李文生. 基于 DEMATEL 的面向目标的弹药需求影响因素分析[J]. 科学技术与工程 2010, 10(35): 8936-8940.
- [13] 李晓涛. 基于 DEMATEL/ISM 的物流企业标准化管理路径研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.
- [14] 闵桂龙, 端木京顺, 高建国, 等. 基于模糊 DEMATEL 的航空维修安全管理体系统研究[J]. 中国安全科学学报 2015, 25(11): 145-149.

Research on Factors Influencing Safety of Complex System of Steel Mill Based on DEMATEL/ISM

DUAN Yuhang, DONG Shaohua, SONG Ding, ZHANG Yaoyuan

Abstract: In order to study the relationship between the factors influencing of complex safety system in steel mills, using the decision making trial and evaluation laboratory and the interpretative structural modeling to calculate and analyze the 15 types of causal factors that cause steel mill accidents, determine the influence degrees, influenced degrees, center degrees, cause degrees of the factors affecting the management, comprehensive analysis of the influence of various factors to build a complex system model. The empirical results show that among the 15 types of causal factors of steelworks accidents, the weak safety culture, the low staff's knowledge level, the unreasonable workers' work types, backward production equipment and facilities, imperfect management norms, incomplete safety systems and safety management are implemented as the cause factors which have a greater influence on other causal factors; human error, blocked human-machine information interaction, blocked equipment energy interaction, machine fault, protective equipment failure, dust and rescue equipment are not in place, lack of labor protection equipment, hard working environment, are easily affected by other factors. Weak safety culture, imperfect safety management system and inadequate safety management implementation are relatively central in the system, these are the focus of safety management in steel mills.

Key words: complex system; cause of accident; decision making trial and evaluation laboratory; interpretative structural modeling; steel mill

DUAN Yuhang: Postgraduate; College of Safety and Ocean Engineering, China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China.