

地下洞室作业人员安全感影响因素结构研究

李志力

(雅砻江流域水电开发有限公司 四川 成都 610051)

【摘要】为研究地下洞室施工作业人员安全感，以某在建大型水电站的右岸导流洞A为研究对象，分析作业人员安全感影响因素关系。首先，通过文献梳理，结合地下洞室施工作业人员访谈和专家评议分析，筛选出18个安全感影响因素。然后，综合运用决策实验室分析法(DEMATEL)和解释结构模型法(ISM)，建立地下洞室作业人员安全感影响因素集成DEMATEL-ISM模型。最后，利用该模型构建洞室A作业人员安全感影响因素关系和层次结构关系。结果表明，安全感影响因素分为5个层级，规章制度制定落实、安全费用投入属于根源因素，具有较强的驱动性；而作业机械设备安全性态、生理健康状况属于表层因素，具有较强的依赖性。

【关键词】安全感；DEMATEL；ISM；影响因素

引言：

地下洞室施工空间受限、通风换气难、照明条件差、多工序平行作业、施工机械设备布置密集、与外界信息沟通困难^[1]，易导致作业人员失去安全感，作业人员缺乏安全感会产生对施工安全的不信任态度，表现出恐惧、焦虑、紧张等强烈负面情绪，致使地下洞室作业中违章作业行为时有发生^[23]。因此，研究地下洞室作业人员安全感影响因素对于提升作业人员安全心理、引导安全行为具有重要意义。

安全感是多种因素共同作用而产生的一种心理感受^[4]，众多

学者对安全感的复杂因素系统进行了研究。邹永广等^[5]分析了信息感知、目的地环境、治安条件、服务项目、地域文化等游客安全感影响因素与安全期望的关系；陈静等^[6]通过多元线性回归分析，筛选出家庭外支持、解决问题、自责、求助、退避和军人心理应激等士兵安全感的主要影响因素；李志等^[7]从社会、组织和个人三个维度剖析了工作不安全感影响因素效用机制。

上述研究为地下洞室施工作业安全感研究提供了借鉴和参考，然而这些研究主要基于公众、企业员工、建筑施工等视角，受行业特性影响，其对安全感影响因素的概括并不能完全适用于地下洞室作业人员，且较少考虑到安全感影响因素间复杂的交互耦合关系。因此，笔者通过文献综述和访谈评议，归纳出地下洞室作业安全感影响因素，然后运用集成DEMATEL-ISM模型，厘清安全感影响因素之间的因果关系和层次结构，以期为制定洞室作业人员安全感提升方针和策略提供依据。

1 安全感影响因素提取

地下洞室个体差异大，本文以某在建大型水电站的右岸导流洞Q为研究对象。影响作业人员心理安全感的因素不仅与作业人员本身有关，更受洞室内部环境、作业实践内容、活动领域组织管理等等外在因素影响。笔者通过梳理安全感及安全心理研究的相关文献^[710151617]，结合导流洞Q作业人员访谈和专家评议分析，筛选出18项地下洞室作业人员安全感影响因素，见表1。

表1 地下洞室施工作业安全感影响因素

编号	影响因素	说明
S ₁	生理健康状况	良好的生理健康状况决定着作业人员的工作专注度及工作质量，影响着作业人员安全感
S ₂	个人意志品质	个人意志品质表现在作业人员对于安全文明作业的自觉性、果断性、自制性和坚持性
S ₃	作业技能水平	作业技能水平低，在操作过程中容易失误，导致作业人员缺乏安全感
S ₄	背景经历	作业人员背景经历包括文化水平、工伤事故经历、工龄、家庭情况等
S ₅	作业任务压力	过强的作业任务压力会超出作业人员体力和心理承受能力，致使安全感缺失
S ₆	作业工种	从事特种作业岗位和危险工种的作业人员极度缺乏安全感
S ₇	安全操作规程执行程度	安全操作规程是规范化作业人员安全操作的指导文件，其执行程度严重影响作业人员安全感
S ₈	洞室隐患告知程度	洞室作业存在众多潜在安全隐患，其告知程度决定着作业人员对洞室施工安全的信任
S ₉	作业机械设备安全性态	性能主要指先进性和对各种生产方式的适应性，状态与其已使用时长和日常维护情况有关，作业机械设备安全性态良好是安全使用的保障
S ₁₀	安全设备设施有效性	安全设备设施有效性是指洞室作业现场通风系统、洒水降尘系统，以及特定部位的隔离设施、标牌标识等安全设备设施布置的合理程度
S ₁₁	洞室作业环境	作业环境指洞室内的温湿度、照明情况、粉尘浓度、施工噪声、特殊气体浓度等因素组合
S ₁₂	作业人员群体环境	洞室作业人员多以班组为群体，群体人员间人际关系、安全意识、作业分工合作都严重影响个体安全感
S ₁₃	安全费用投入	安全费用投入是指为降低作业风险以及尽量避免事故发生而投入的保障性资金
S ₁₄	安全教育培训	教育培训包括岗前安全培训及入职后的再教育，作业人员经过教育培训能极大降低作业风险
S ₁₅	班组长管理行为	班组长是洞室现场作业人员最直接的领导者，既是洞室班组成员技术骨干，又是洞室作业人员的模范标杆，其管理行为能增强洞室作业人员的安全感
S ₁₆	安监人员监管态度	安监人员监管态度反映着组织层面对洞室施工安全的重视，严重影响作业人员安全感
S ₁₇	规章制度制定落实	规章制度对地下洞室安全施工秩序起指导和约束作用，其制定落实保证洞室作业管理规范化
S ₁₈	应急资源保障	应急资源保障指人力、资金、物资、设施、信息和技术等各类资源配备充足

2 DEMATEL 和 ISM 集成及分析步骤

由综合影响矩阵构建整体影响矩阵，并引入阈值，剔除影响因素间微弱的作用关系，从而实现 DEMATEL 法和 ISM 法的集成，具体实施步骤如下：

1) 建立直接影响矩阵

根据影响因素之间的作用关系强度，对照表2中的评判准则，建立直接影响矩阵 $B=[b_{ij}]_{m \times n}$ ，其中 $i, j=1, 2, \dots, n$ 。

表2 因素影响关系准则

作用强度 b_{ij}	无	弱	一般	强	很强
准则	0	1	2	3	4

2) 规范化直接影响矩阵

规范化处理直接影响矩阵 B ，得到规范化后的直接影响矩阵 $C=[c_{ij}]_{m \times n}$ ，其中 $0 \leq c_{ij} \leq 1$ ：

$$c_{ij} = \frac{b_{ij}}{\max\{\sum_{j=1}^n b_{ij}\}} \quad (1)$$

矩阵 C 满足以下性质：

$$\begin{cases} \lim_{n \rightarrow \infty} C^n = \mathbf{0} \\ \lim_{n \rightarrow \infty} (I + C + C^2 + \dots + C^n) = C \frac{I - C^{n+1}}{I - C} = (I - C)^{-1} \end{cases}$$

其中： $\mathbf{0}$ 为零矩阵； I 为单位矩阵。

3) 建立综合影响矩阵

由上述性质，计算得出综合影响矩阵 D ， $D = [d_{ij}]_{m \times n}$ ，其中， d_{ij} 为因素 S_i 对因素 S_j 的直接影响与间接影响的程度总和，即综合影响程度：

$$D = \lim_{n \rightarrow \infty} (C + C^2 + \dots + C^n) = C(I - C)^{-1} \quad (2)$$

4) 确定中心度和原因度

对矩阵 D 分别按行与列求和，分别得到因素 S_i 的影响度 f_i 和被影响度 e_i ：

$$\begin{cases} f_i = \sum_{j=1}^n d_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n) \\ e_i = \sum_{j=1}^n d_{ji} (i, j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (3)$$

中心度 x_i 代表因素 S_i 对地下洞室作业人员安全感影响程度，原因度 y_i 代表因素 S_i 与其它因素间的影响关系，若 $y_i > 0$ ，表示 S_i 对其他因素的影响作用更明显，为原因因素；反之，若 $y_i < 0$ ，表示 S_i 被其他因素影响更明显，为结果因素。中心度和原因度根据影响度和被影响度确定：

$$\begin{cases} x_i = f_i + e_i (i = 1, 2, \dots, n) \\ y_i = f_i - e_i (i = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (4)$$

5) 计算整体影响矩阵

在综合影响矩阵 D 的基础上, 计算整体影响矩阵:

$$H = D + I \quad (5)$$

6) 确定可达矩阵

λ 为阈值, 决定着可达矩阵和因素层级结构划分, 应根据实际情况取值。通过整体影响矩阵 H , 计算可达矩阵 $M = [m_{ij}]_{n \times n}$, 其中:

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, & h_{ij} > \lambda \\ 0, & h_{ij} \leq \lambda \end{cases} \quad (6)$$

对可达矩阵进行重排, 形成下三角矩阵 $M' = [m'_{ij}]_{n \times n}$ 。

7) 影响因素结构层次划分

由重排后的可达矩阵 M' , 将影响因素划分为可达集 $R(S_i)$ 和先行集 $A(S_i)$ 两个子集合。其中, $R(S_i)$ 表示某一影响因素 S_i 能够影响的全部影响因素集合, 即从可达矩阵的各行横向观察, 矩阵元素为 1 的所有致因指标集合; $A(S_i)$ 表示所有可能影响 S_i 的影响因素, 即从可达矩阵的各列竖向观察, 矩阵元素为 1 的所有影响因素。

依据式对地下洞室施工作业安全感知影响因素层级迭代抽取, 最终, 构建地下洞室施工作业安全感知影响因素层次结构。

$$R(S_i) \cap A(S_i) = R(S_i) \quad (7)$$

3 安全感影响因素结果分析

3.1 测算影响因素作用关系

组织安全管理研究专家、洞室 Q 内施工管理人员和个别作业人员代表对地下洞室施工作业安全感 18 个因素关系进行评议分析, 由表 2 中准则, 构建因素间的直接影响矩阵:

Table B: Direct influence matrix with 18 rows and 18 columns of numerical values.

对矩阵 B 标准化处理, 依据式获得综合影响矩阵 D (限于篇幅, 不再列举), 依据公式和, 由综合影响矩阵 D 计算得出 f_i 、 e_i 、 x_i 、 y_i , 并对影响度和被影响度排序, 结果见表 3。

表 3 影响度、被影响度、中心度、原因度计算结果

Table 3: Calculation results for influence degree, affected degree, center degree, and cause degree for 18 factors.

根据表 3 中心度和原因度计算结果, 绘制地下洞室作业人员安全感影响因素因果关系, 见图 1。

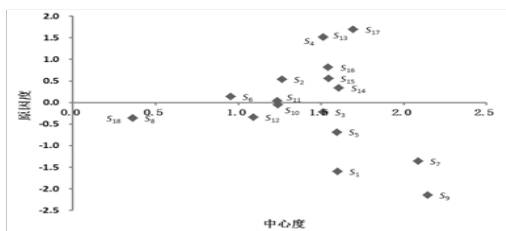


图 1 安全感影响因素因果关系图

分析直接影响矩阵 B。得知这 18 个影响因素间的关系并不复杂, 故将 λ 取值为 0。根据式, 定义因素间关系的可达矩阵 M, 并对 M 进行重排, 形成下三角形式的可达矩阵:

$$M' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

根据式对 M' 进行迭代运算, 将地下洞室作业人员安全感影响因素由浅入深划分为 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、 K_5 等五个层级, 结合直接影响矩阵 B, 构建地下洞室安全感影响因素层次结构, 如图 2。

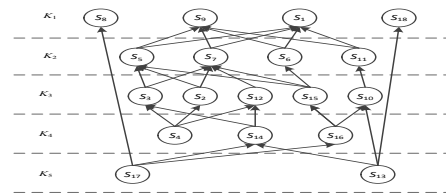


图 2 影响因素间递阶层次结构

3.2 影响因素关系阐释

1) 中心度分析

由图 1 知, 作业机械设备安全性能 (S_9)、安全操作规程执行程度 (S_7)、规章制度制定落实 (S_{17})、安全教育培训 (S_{14})、作业任务压力 (S_5)、生理健康状况 (S_1)、班组长管理行为 (S_{15})、安监人员监管态度 (S_{16})、安全费用投入 (S_{13})、作业技能水平 (S_3)、背景经历 (S_4) 等因素中心度较高, 是较为重要的影响因素。

1) 由表 3 知, 安全教育培训 (S_{14})、作业技能水平 (S_3) 的影响度和被影响度排序都较高, 表现出较强的联动性, 在洞室施工作业时应严格监控这类因素的变化。在图 2 中层次结构中, 这类因素处于关键节点位置, 是较为不稳定的影响因素。

而隐患告知程度 (S_8)、应急资源保障 (S_{18})、等因素中心度较小, 其影响度和被影响度排序都很低, 在图 2 中的层次结构中表现出较强的独立性, 与其他因素联系不紧密。

2) 原因因素分析

根据图 1 所示, 将原因度大于零的因素由原因度大小排序为: 规章制度制定落实 (S_{17})、安全费用投入 (S_{13})、背景经历 (S_4)、安监人员监管态度 (S_{16})、班组长管理行为 (S_{15})、意志品质 (S_2)、安全教育培训 (S_{14})、作业工种 (S_6)、洞室作业环境 (S_{11}), 这些因素的影响度较被影响度大, 属于原因因素。

由表 3 知, 规章制度制定落实 (S_{17})、安全费用投入 (S_{13})、背景经历 (S_4) 等因素影响度排序最靠前, 而被影响度排序都是最低, 表现出较强的驱动性, 对系统中其他因素有着较强的影响作用。在图 2 中, 规章制度制定落实 (S_{17})、安全费用投入 (S_{13}) 处于因素层次结构的 K_5 层, 是影响作业人员安全感的根源因素, 而背景经历 (S_4) 处于 K_4 层, 是深层影响因素。因此, 加强这类因素管控能大幅度提升地下洞室作业人员安全感。

3) 结果因素分析

将原因度小于零的影响因素按绝对值大小进行排序为: 作业机械设备安全性能 (S_9)、生理健康状况 (S_1)、安全操作规程执行程度 (S_7)、作业任务压力 (S_5)、洞室隐患告知程度 (S_8)、应急资源保障 (S_{18})、作业人员群体环境 (S_{12})、作业技能水平 (S_3)、安全设施设备有效性 (S_{10}), 这些因素的影响度较被影响度小, 属于结果因素。

由表 3 知, 作业机械设备安全性能 (S_9)、安全操作规程执行程度 (S_7)、生理健康状况 (S_1)、作业任务压力 (S_5) 的被影响度分别排在前 4, 而影响度排名却较低, 表现出较强的依赖性。在图 2 中, 作业机械设备安全性能 (S_9)、生理健康状况 (S_1) 处于 K_1 层, 即为表层影响因素, 而安全操作规程执行程度 (S_7)、作业任务压力 (S_5) 处于 K_2 层, 为次表层影响因素。这类因素是地下洞室作业人员安全感提升的主要目标, 在地下洞室安全管理中应该严格考查这类因素。

4 结论

(1) 针对地下洞室安全感研究不足, 在文献归纳、作业人员访谈和专家评议分析的基础上, 提取 18 个地下洞室施工作业人员安全感影响因素, 并构建集成 DEMATEL-ISM 分析模型, 识别出影响因素间的影响关系, 并划分影响因素的层次结构。

(下转 92 页)

(上接 1034 页)

(2) 在地下洞室作业人员管理中,完善规章制度的制定与落实,加大地下洞室施工作业的安全投入,同时以作业机械设备安全性态、生理健康状况作为作业人员安全感的部分考察指标,这是地下洞室作业人员安全感提升的指导思想。

(3) 集成 DEMATEL-ISM 模型研究地下洞室作业人员安全感影响因素,其视角以及模型的运用对安全感与洞室作业结合研究做了补充,为影响因素优化研究提供借鉴。但缺乏对地下洞室作业人员安全感提升措施的探讨,这将是下一步研究的重点。

参考文献:

[1] 郑霞忠,石法起,陈述等.基于D-S证据理论的地下洞室作业人员安全行为评价[J].中国安全生产科学技术,2016(06):158-162

[2] Natsuko Hikage, Yuko Murayama, Carl Hauser. Exploratory survey on an Evaluation Model for a Sense of

Security[J]. Ifip International Federation for Information Processing, 2007, 232 (3) : 121-132

[3] 陈鹏,宋利,智毅.人力资源实践对煤矿企业员工安全感影响的实证研究[J].中国煤炭,2007(11):73-75

[4] Natsuko Hikage, Yuko Murayama, Carl Hauser. Exploratory survey on an Evaluation Model for a Sense of Security. [J]. Ifip International Federation for Information Processing, 2007, 232 (3) : 121-132

[5] 邹永广,郑向敏.旅游目的地游客安全感的影响因素实证研究——以福建泉州为例[J].旅游学刊,2012,27(01):49-57

[6] 陈静,邹涛,付胡海.不同军龄武警士兵的安全感状况及影响因素[J].解放军医学杂志,2011,36(2):192-194

[7] 李志,李业川.工作不安全感影响因素及对策研究[J].现代管理科学,2008(02):62-63