

doi: 10.7690/bgzdh.2026.02.014

基于改进型模糊综合评价法的安防系统工程项目质量风险评价

董鹏¹, 马瑞^{1,2}, 苏伯威^{1,3}, 陈唯冰^{1,4}

(1. 海军工程大学管理工程与装备经济系, 武汉 430033; 2. 中国人民解放军国防科技大学, 长沙 410000;
3. 中国人民解放军 92730 部队, 海南 三亚 572099; 4. 中国人民解放军 91954 部队, 湖南 永州 425000)

摘要: 为有效提升安防系统建设工程的科学化质量管理水平, 提出一种将熵权法和模糊综合评价法相结合的研究方法。以安防建设工程项目质量风险识别问题为出发点, 并采取模拟仿真的方式对该方法进行论证。结果表明: 该方法有效, 可为安防工程的质量水平提升提供参考和帮助。

关键词: 安防建设工程; 熵权法; 模糊综合评价法; 质量风险识别

中图分类号: N945.13 **文献标志码:** A

Quality Risk Evaluation of Security System Engineering Project Based on Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

Dong Peng¹, Ma Rui^{1,2}, Su Bowei^{1,3}, Chen Weibing^{1,4}

(1. Department of Management Engineering and Equipment Economics, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China; 2. National University of Defense Technology, Changsha 410000, China;
3. No. 92730 Unit of PLA, Sanya 572099, China; 4. No. 91954 Unit of PLA, Yongzhou 425000, China)

Abstract: In order to effectively improve the scientific quality management level of the security system construction project, a research method combining the entropy weight method and the fuzzy comprehensive evaluation method is proposed, which takes the quality risk identification of the security construction project as the starting point, and demonstrates the method by simulation. The results indicate that the method is effective, which can provide reference and help for improving the quality level of security construction projects.

Keywords: security construction project; entropy weight method; fuzzy comprehensive evaluation method; quality risk identification

0 引言

我国的安防工程起步于 20 世纪七八十年代, 与世界发达国家相比起步较晚。随着近年来国内经济与科技水平的提升, 我国的安防工程发展经过了初步阶段、初步发展阶段和高速发展阶段后, 现已步入了成熟阶段, 安防工程的建设发展取得了较大的发展进步和卓越成绩, 现阶段, 安防工程已覆盖社会发展的各个专业和领域, 为国家和社会的有序稳定发展作出了巨大贡献。

安防工程包含的专业涉及结构、电路、信号、土木等多个方面, 在项目建设过程中往往会面临较多的困难, 而且为做到美观和隐蔽, 往往隐蔽工程较多, 在质量管理方面往往会面临较多困难, 部分质量问题会在日后的使用过程中慢慢暴露出来, 很难在源头和工程项目的实施与验收过程中发现; 因此, 笔者以安防工程的质量风险评价问题为着眼点, 以熵权值法与模糊综合评价法相结合的方式进行研究,

希望能够为安防工程的质量风险提供一套科学可行的评价方法, 为安防工程的质量水平提升提供参考和帮助。

1 问题研究现状

在安防工程建设方面, 陈维银^[1]提出建筑智能化可较好地提升建筑工程的稳定性与灵活性, 建筑智能化系统安防工程技术应用可有效提高建筑工程项目的社会效益, 为社会和建筑行业的发展提供帮助; 吕建兴^[2]认为安防工程是工程建设智能化系统中的关键组成部分, 安防系统的智能化与信息化随着科技水平的进步不断提升, 安防系统的发展可以为社会和建筑行业的发展作出较大贡献; 余煜华^[3]以某安防工程项目为研究, 分析了建筑工程行业安防系统的建设情况, 论证了小区安防工程在施工技术方面的应用; 刘译泽等^[4]基于 BIM 技术建立了一套安防评价体系的 3 维模型模拟软件, 以现实需求和现实应用为导向与核心, 设计出的模拟软件可以

收稿日期: 2024-11-02; 修回日期: 2024-12-08

第一作者: 董鹏(1980—), 男, 山东人, 博士。

有效补强安防系统的薄弱环节，为设计人员优化安防系统提供参考和帮助。

在模糊综合评价研究方面，谢冬辉等^[5]构建模糊综合评价法模型从生产、技术等方面进行综合分析，并提出了建筑工程领域质量管理的合理化建议和思路；安子樱等^[6]从应急装备灾害适应性评估为研究对象，从现有的装备评价方法为出发点，建立了层次分析法和模糊综合评价法相结合的应急装备灾害环境适应性评价模型，将此方法结合现实环境进行了应用，取得了较好的效果，为灾害环境适应性检测工作作出了贡献；黄华^[7]以深基坑施工安全风险评估为研究对象，采用层次分析法和模糊综合评价法相结合的方式建立了深基坑项目在施工过程中的安全风险评价模型，为施工单位对深基坑工程的安全管理提供理论依据；刘宇^[8]以新能源建设项目安全风险评价为研究对象，从新能源建设项目的实际特点出发，建立了安全风险评价指标体系，并运用模糊层次分析法对新能源建设项目的安全风险进行了评估，从评估结果和工程项目的建设实际看，该方法对于提升此类工程项目的安全水平具有较高的意义。

上述研究结果对于安防工程建设项目和模糊综合评价法进行了较多的研究，但对模糊综合评价法在安防工程建设项目方面的研究较为不足，尤其是安防建设项目自身存在的复杂程度高、专业涵盖面广等特点，针对性研究存在一定的不足。笔者以安防建设工程为研究对象，采取熵权值法与模糊综合评价法相结合的方式对安防建设工程的质量风险评价问题进行研究；首先，用熵权值法将安防建设工程的评价指标进行权重确定；然后，以此权重结果建立模糊综合评价模型对安防建设工程项目进行分析和评价。希望能够为安防建设工程提供较为灵活方便有效的质量风险评价模型，为安防建设工程的质量建设水平提升作出贡献。

2 安防建设工程项目质量风险评价指标

安防建设工程专业涵盖面广、工程难度大、施工建设复杂、隐蔽工程较多、质量管理难度较大等特点较为明显，通过文献查询、工程分析与专家咨询等方式对安防建设工程的质量风险进行了分析，从而得出人员素质因素风险、机械设备因素风险、材料用料因素风险、建设方法因素风险、工程环境因素风险 5 个一级质量风险评价指标，然后进一步分析得 20 个二级风险评价指标，具体情况如表 1

所示。

表 1 安防建设工程项目质量风险评价指标

| 序号 | 一级质量风险评价指标 | 二级质量风险评价指标 |
|----|----------------|------------------|
| 1 | 人员素质因素 A_1 | 责任心不强 B_1 |
| 2 | | 沟通协调不畅 B_2 |
| 3 | | 技术水平不高 B_3 |
| 4 | | 工作效率低下 B_4 |
| 5 | 机械设备因素 A_2 | 性能老化 B_5 |
| 6 | | 精准度不够 B_6 |
| 7 | | 故障频发 B_7 |
| 8 | | 功能不足 B_8 |
| 9 | 材料用料因素 A_3 | 材料质量不够 B_9 |
| 10 | | 数量不足 B_{10} |
| 11 | | 兼容性不好 B_{11} |
| 12 | | 使用不当 B_{12} |
| 13 | 建设方法因素风险 A_4 | 作业方案不完善 B_{13} |
| 14 | | 作业标准不明确 B_{14} |
| 15 | | 作业程序不顺畅 B_{15} |
| 16 | | 技术方案不细致 B_{16} |
| 17 | 工程环境因素 A_5 | 管理不正规 B_{17} |
| 18 | | 安全有漏洞 B_{18} |
| 19 | | 施工环境较差 B_{19} |
| 20 | | 政策有调整 B_{20} |

3 安防建设工程质量风险评价模型

质量风险评价指标确定后，需进一步进行质量风险指标的评价工作。传统的安防工程质量风险评价，采用专家评分或是现场评分等方式，评价结果往往带有较大的人为主观色彩，科学性与客观性有所不足。笔者采取模糊综合评价法与熵权值法相结合的方式对安防建设工程项目的质量风险进行评价：一方面将风险评价指标进行熵权值的确定，确保不同风险评价指标对评价结果的影响相对更加科学与客观；另一方面用模糊综合评价法对各个风险评价指标进行评估运算，最终将熵权值法与模糊综合评价法所确定的结果进行综合运算，获得较为公正、科学、客观的安防建设工程项目质量风险评价结果^[1]。

3.1 安防建设工程质量风险评价指标权重评估模型

在安防建设工程中，各个风险评价指标对于建设工程本身的影响不尽相同，假设安防建设工程的质量风险评价指标共有 n 个，参与评价的安防建设工程项目质量风险专家总共 m 个，对于安防建设工程各个指标的风险级别评价区分为：高风险、较高风险、中风险、较低风险、低风险 5 个等级，并由此建立决策矩阵为：

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

1) 运用熵权法对安防建设工程质量风险评价的专家权重进行确定, 根据熵的性质对安防建设工程的质量风险因素排序, 第 i 个专家的熵为:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (2)$$

式中 $f_{ij} = x_{ij} / \sum_{j=1}^n x_{ij}$; $k=1/\ln n$; $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。则第 i 个专家的熵权 λ_i 计算方式为:

$$\lambda_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (3)$$

2) 运用熵权值法对安防建设工程的质量风险评价指标进行权重确定, 通过计算所得的安防工程质量风险评价专家的权重向量 $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ 与式 (1) 获得的安防工程质量风险评价决策矩阵 X 相运算, 可得如下安防工程项目质量风险指标的评价矩阵 Y :

$$Y = \lambda X = (y_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

第 i 个质量风险评价指标经过标准归一化运算即可得出其熵权 w_i , 具体计算方式为:

$$w_i = y_i / \sum_{j=1}^m y_{ij} \quad (5)$$

3.2 模糊综合评价法下安防工程项目质量风险评价

在安防建设工程中, 较为复杂的工程项目特点与较多的隐蔽工程内容, 使得安防建设工程项目在质量安全控制方面存在着较多的难度, 尤其是各个风险因素的不确定性使得工程项目的安全性难以较为科学的量化。通过模糊综合评价法, 运用模糊数学中的隶属度理论进行运算和分析, 进而实现质量风险评价指标的量化问题, 通过模糊综合评价法的运算, 为安防工程项目的质量风险水平获得一个较为可靠且科学的评价结果。笔者建立的模糊综合评价方式步骤如下:

1) 确定安防建设工程项目的评价要素集及权重向量。

设安防建设工程项目的评价要素有 n 个称为因素集, 记作 $U=\{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$, 在安防建设工程项目中, 各个评价要素对于安防工程安全风险的作用不同, 因此应当考虑权重情况, 运用熵权值法确定各个评价要素的权重水平, 并确定权重向量

$$W=\{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}。$$

2) 确定评语集。

在安防建设工程项目中, 评语集的意思是每个质量风险评价指标所能够做出的评论的集合, 可记作 $V=\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$, 其中集合元素 v_j 为本文中对于某项安防建设工程项目风险要素的评价结果, 对于安防建设工程的质量风险评价的评语集为 $V=\{\text{较低风险, 一般风险, 较大风险, 重大风险, 特大风险}\}$ 。

3) 建立评判矩阵。

利用建立的因素集和评语集对每个安防建设工程的质量风险情况进行评价, 将所有的评价结果进行分类整合, 进而可以获得安防建设工程项目的评价矩阵。

4) 模糊综合评判。

根据模型的运算结果进行模糊综合评价, 在进行安防建设工程质量风险的模糊综合评价时采取加权平均的运算方式, 通过运算方式所得的计算结果采用最大隶属度法则进行分析和判断。

4 质量风险评价模型仿真分析

为加强对提出的安防建设工程质量风险评价模型进行研究和分析, 结合安防建设工程的经验对所建立的熵权值与模糊综合评价法相结合的质量风险评价模型进行模拟分析。

4.1 确定安防建设工程的项目质量风险指标权重值

针对所分析出的安防建设工程存在的一级风险评价指标, 即人员素质因素风险、机械设备因素风险、材料用料因素风险、建设方法因素风险、工程环境因素风险, 基于 3.1 节中的内容可得各个风险评价指标的评价等级, 同时针对各个一级风险评价指标和二级风险评价指标的关系可得一级风险评价指标 1 组合二级风险评价指标 5 组的 6 组熵权值向量, 通过对每组评价指标结合不同的评价等级, 给出 7 组量化评分方案, 基于这 7 组评价指标的量化评分方案, 利用 3.1 节中的式(1)-(5)确定出 6 组熵权值向量评估结果, 分别为:

$$\begin{aligned} W_1 &= \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5\} = \\ & \{0.250\ 5, 0.326\ 1, 0.101\ 1, 0.203\ 4, 0.118\ 9\}; \\ W_{a1} &= \{w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14}\} = \\ & \{0.250\ 0, 0.382\ 2, 0.176\ 9, 0.190\ 9\}; \\ W_{a2} &= \{w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{24}\} = \\ & \{0.244\ 2, 0.230\ 6, 0.300\ 2, 0.225\ 1\}; \\ W_{a3} &= \{w_{31}, w_{32}, w_{33}, w_{34}\} = \end{aligned}$$

$$\{0.301\ 1, 0.094\ 4, 0.372\ 7, 0.231\ 8\};$$

$$W_{a_4}=\{w_{41}, w_{42}, w_{43}, w_{44}\}=\{0.242\ 9, 0.255\ 5, 0.255\ 5, 0.246\ 2\};$$

$$W_{a_5}=\{w_{51}, w_{52}, w_{53}, w_{54}\}=\{0.187\ 8, 0.216\ 2, 0.197\ 6, 0.398\ 4\}。(6)$$

4.2 安防建设工程项目模糊综合评价

在确定了安防建设工程项目的各个评价指标权重后，利用模糊综合评价方法建立模糊综合评价矩阵，通过 3.2 节所确定的评语集情况，建立评价矩阵后计算出二级评价要素的模糊评价结果，具体内容如下：

1) 确定隶属度。

根据模拟的安防建设工程项目以及所确定的安全风险评价指标情况，确定调查问卷，问卷中评价内容为{较低风险，一般风险，较大风险，重大风险，特大风险}，运用 10 份问卷进行下一步的研究。

通过对问卷的整理，可得安防建设工程项目质量评价要素的隶属度情况如表 2 所示。

表 2 安防建设工程项目质量风险评价隶属度矩阵

| 二级质量风险评价指标 | 较低风险 | 一般风险 | 较大风险 | 重大风险 | 特大风险 |
|------------|------|------|------|------|------|
| 责任心不强 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 沟通协调不畅 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0 |
| 技术水平不高 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0 |
| 工作效率低下 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| 性能老化 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0 |
| 精准度不够 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 故障频发 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0 |
| 功能不足 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| 材料质量不够 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0 |
| 数量不足 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0 |
| 兼容性不好 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| 使用不当 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| 作业方案不完善 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0 |
| 作业标准不明确 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 作业程序不顺畅 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0 |
| 技术方案不细致 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| 管理不正规 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0 |
| 安全有漏洞 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0 |
| 施工环境较差 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 政策有调整 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.1 |

据所确定的安防建设工程项目质量风险评价隶属度矩阵，可得一级风险评价指标与之对应的二级风险评价指标的模糊关系矩阵 R_i ，5 个一级质量风险评价指标对应的模糊评价关系矩阵：

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix};$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix};$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix};$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix};$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix}。(7)$$

得出 5 个一级质量风险评价指标对应的模糊评价关系矩阵后，可以通过公式 $E_i=W_i*R_i$ 即可计算获得 5 个一级质量风险评价指标的评价向量：

$$E_1=\{0.239\ 6\ 0.280\ 9\ 0.254\ 5\ 0.180\ 9\ 0.044\ 1\};$$

$$E_2=\{0.385\ 0\ 0.247\ 5\ 0.168\ 1\ 0.176\ 9\ 0.022\ 5\};$$

$$E_3=\{0.311\ 7\ 0.297\ 7\ 0.153\ 3\ 0.176\ 8\ 0.060\ 5\};$$

$$E_4=\{0.324\ 6\ 0.225\ 5\ 0.200\ 0\ 0.199\ 7\ 0.050\ 2\};$$

$$E_5=\{0.357\ 3\ 0.260\ 2\ 0.141\ 4\ 0.201\ 3\ 0.039\ 8\}。(8)$$

根据最大隶属度原则，5 个一级质量风险评价指标的评价结果为：人员素质因素 A_1 评价结果“一般风险”、机械设备因素 A_2 评价结果“较低风险”、材料用料因素 A_3 评价结果“较低风险”、建设方法因素 A_4 评价结果“较低风险”、工程环境因素 A_5 评价结果“较低风险”。

在对 5 个一级质量风险评价指标对应的模糊评价关系向量确定后，进一步运用综合模糊评价法计算整个安防建设工程项目的模糊评价关系矩阵 R ：

$$R = \begin{bmatrix} 0.2396 & 0.2809 & 0.2545 & 0.1809 & 0.0441 \\ 0.3850 & 0.2475 & 0.1681 & 0.1769 & 0.0225 \\ 0.3117 & 0.2977 & 0.1533 & 0.1768 & 0.0605 \\ 0.3246 & 0.2255 & 0.2000 & 0.1997 & 0.0502 \\ 0.3573 & 0.2602 & 0.1414 & 0.2013 & 0.0398 \end{bmatrix}。(9)$$

相应的模糊综合评价向量则是同样由一级质量风险评价指标的权重向量与综合模糊评价关系矩阵运算得出：

$$E = W * R = \{0.325\ 6\ 0.258\ 0\ 0.191\ 6\ 0.185\ 4\ 0.039\ 4\}。(10)$$