



引用格式:孙凌宇,朱丽莉,张小俊,等.基于模糊层次分析法的关键技术元素识别[J].科学技术与工程,2020,20(24):9816-9821

Sun Lingyu, Zhu Lili, Zhang Xiaojun, et al. Critical technology element recognition based on fuzzy analytic hierarchy process [J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(24): 9816-9821

一般工业技术

基于模糊层次分析法的关键技术元素识别

孙凌宇¹, 朱丽莉^{1*}, 张小俊¹, 刘策¹, 王艳晖²

(1. 河北工业大学机械工程学院,天津 300130; 2. 中广核研究院有限公司,深圳 518000)

摘要 关键技术元素识别是进行技术就绪水平评估的关键步骤,是降低项目或产品研制过程中的风险,减少研制成本的重要保障。传统关键技术元素识别一般采用专家筛选法,其结果主观性和不确定性较大,造成关键技术元素丢失或冗余,直接影响技术就绪水平的量化识别。为此,提出一种运用模糊层次分析法 FAHP 原理进行关键技术元素识别的方法。首先专家依据判定准则和重要程度标度建立模糊判断矩阵,其次将调整为模糊一致性矩阵,然后求解各项子技术元素的重要性,最后根据重要度量化评价结果识别出关键技术元素并通过实例对验证了其有效性。结果表明:该方法结合定性分析与定量分析,减小了不确定性因素影响,具有良好的工程应用价值。

关键词 技术就绪水平; 关键技术元素; 模糊层次分析法; 权重系数

中图法分类号 TB114; 文献标志码 A

Critical Technology Element Recognition Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process

SUN Ling-yu¹, ZHU Li-li^{1*}, ZHANG Xiao-jun¹, LIU Ce¹, WANG Yan-hui²

(1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

2. Zhongguang Nuclear Research Institute Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

[Abstract] The identification of critical technical elements is a key step in the technology readiness assessment. It is an important guarantee for reducing risks and costs in project or product development. The identification of traditional critical technical elements generally adopts the expert screening method. And those results are subjective and uncertain, resulting in the loss or redundancy of critical technical elements, which directly affects the technical readiness quantitative identification. For this reason, a method of critical technology element identification based on fuzzy analytic hierarchy process FAHP principle was proposed then. Firstly, the fuzzy judgment matrix was established according to the criterion and the importance degree scale, and then it was adjusted to the fuzzy consistency matrix. Moreover, the importance degree of each sub-technical element was solved, and finally the critical technical elements were identified according to the important measurement evaluation results. The pair verified its validity. It is concluded that the method combines qualitative analysis and quantitative analysis to reduce the influence of uncertainty factors and has good engineering application value.

[Key words] technology readiness level; critical technology elements; fuzzy analytic hierarchy process; weight coefficient

技术就绪水平(technology readiness level, TRL)是按一定的原则制定分级标准并把一类技术系统或项目按照所处的不同阶段对应到各等级,以量化区分每一个技术系统或项目所处的成熟程度。其可以降低项目或产品研制过程中的风险,减少研制成本等^[1]。而对于技术就绪水平的评估关键是找到项目的关键技术元素(critical technology elements,

CTEs), CTEs 是指在系统或项目研制过程中对于性能成本等有重大影响的技术单元,或是在规定的时间、规定的费用范围内为完成项目设定的性能要求和任务必需的新颖技术。关键技术元素识别的准确与否将直接影响技术就绪水平评价的效果。一般来说,若识别关键技术元素不完全,可能会造成项目研制过程中出现技术盲点,从而影响项目的进

收稿日期: 2019-11-06; 修订日期: 2020-01-11

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFF0109005)

第一作者: 孙凌宇(1978—),男,汉族,天津市人,博士,副教授。研究方向:机器人控制。E-mail:sunlyu78@126.com。

*通信作者: 朱丽莉(1992—),女,汉族,山东菏泽人,硕士。研究方向:特种机器人。E-mail:Missjulie21@163.com。

度、性能等;识别关键技术元素过多,则会造成研制成本的浪费,拖延项目进度。

目前,传统识别 CTEs^[2,4]采用专家筛选法,首先进行工作结构分解,人工筛选出关键技术元素候选清单,专家根据准则和技术元素资料,讨论筛选出关键技术元素,但该方法主观性大,耗时较长。任长晟^[5]提出采用目标规划的方法确定关键技术元素的权重,此方法比较精确,但是仍然是在传统方法基础上进行计算;朱永国等^[6]采用了基于粗糙集和信息熵的关键技术元素识别方法。虽然这种方法的评价结果影响因素较小,但是该方法要求调查问卷设计的合理性较高。

由此,提出一种运用模糊层次分析法(fuzzy analytical hierarchy process, FAHP)进行关键技术元素识别方法。FAHP 是层次分析法与模糊集的结合,FAHP 对于不确定性信息处理方面较层次分析法有提高,广泛应用于解决多属性决策问题^[7]。运用 FAHP 进行关键技术元素识别,改进了层次分析法(analytical hierarchy process, AHP)方法中判断矩阵一致性调整及求解权重的问题。无须设计调查问卷,既可以省时,又减小了评价中不确定性因素的影响。

1 基于 FAHP 关键技术元素识别方法

CTE 识别方法需要对每项子技术元素进行评价,而关键技术元素应符合以下条件:①该技术对系统性能、进度、成本、实际使用有重大影响;②该技术可能引起主要的开发风险或演示验证风险;③该技术是新技术或者是已重新包装以适用于新的相关环境;④该技术已经从曾经的成功应用中被修改^[8]。专家依据上述标准含义对各项子技术元素进行逐一讨论、分析,从项目进程、技术、风险等角度出发,评选出关键技术元素。

传统的层次分析法是由美国运筹学家 Saaty 教授^[9]提出的一种定性与定量分析相结合的分析方法。层次分析法是专家分析、群组决策常用的一种方法,通过建立层次排序结构,构造判断矩阵,判断矩阵一致性检验与调整,进行权重组合作计算得到不同方案的综合评价值。在运用 AHP 中发现:当判断矩阵具有一致性时,需要进行一致性调整再检验的过程,且没有统一标准的方法进行判断矩阵一致性调整。

为了解决上述问题,引入了模糊思想和方法。模糊思想的外延是指不明确的、其边界是不清晰的,专家对子技术元素进行分析评价时,应考虑人的判断模糊性,运用基于模糊判断矩阵的模糊层次分析法,不仅考虑因素更为全面,主观影响程度更低,并可以更好地将专家意见集成到决策过程

中^[10]。FAHP 与 AHP 的思想和步骤基本一致,但仍是存在不同之处。

(1) 建立的判断矩阵不同:在 AHP 中建立的判断矩阵,而 FAHP 中建立的是模糊判断矩阵。

(2) 求矩阵中各个元素的相对重要性的权重方法不同。

进行运用 FAHP 进行关键技术元素的准确识别方法步骤如图 1 所示。

首先进行准备工作,明确问题,收集资料,关于项目或系统的进度、成本、性能、功能等各方面的资料,以及每种技术元素的主要资料。进行工作分解结构(work breakdown structure, WBS)或技术分解结构(technical breakdown structure, TBS),将系统按照功能作用逐级分层,找出最基本的构成单元,即子技术元素。建立层次排序结构,最上面为目标层,最下面为方案层,中间是准则层或指标层^[11],如图 2 所示,对于关键技术元素识别问题,其目标层为关键技术元素,准则层为专家给出的识别准则,方案层为找到的子技术元素。选择合适的专家成立专家评价小组,并赋予专家合适的权重。专家根据项目的构成情况讨论确定两种关键技术元素判定准则的权重。根据每个判定准则分别对子技术元素两两对比打分并建立模糊判断矩阵,根据公式计算得到模糊一致矩阵,计算各子技术元素的权重大小。将计算得到的结果结合专家权重与判定准则的权重,得到子技术元素最终的重要度。

在运用 FAHP 进行关键技术元素识别时依靠专家进行打分评定,一定要保证评价的质量,在选择专家时,依据个人基本信息、知识水平、科研水平、评议水平等保证专家组成员产生的公正性、科学性和权威性^[12]。



图 1 关键技术元素识别步骤

Fig. 1 Critical technology elements recognition steps

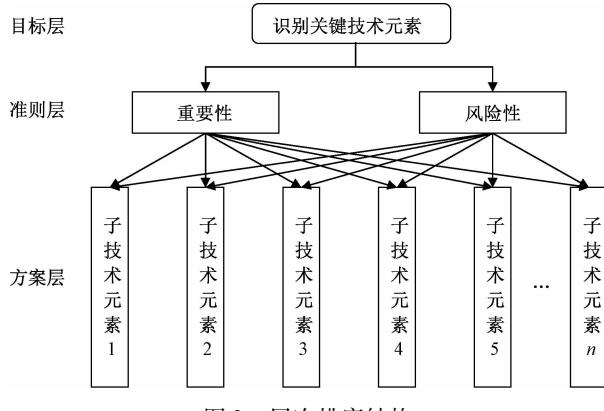


Fig. 2 Hierarchical sorting structure

关键技术元素的识别涉及项目研制过程中的各个方面、各个阶段,选择专家不仅要具有全面性、规模和广泛的代表性,还需包括各个领域,从而保障识别过程的客观性和科学性。故应选择财务、管理、技术、科研等方面的专家,并科学制定专家的配比。根据专家对项目了解情况、知识科研水平、评议水平的方面进行专家互评,确定专家的权重。也可根据所提到的模糊层次分析法分析得到各专家的权重。设专家人数为 m ,权重分别记为 E_1, E_2, \dots, E_m 。

2 模糊一致性矩阵的建立

首先判别准则层的两个准则的相对重要性,将判定准则分为重要性和风险性,重要性:是否对项目有重大影响;风险性:是否为新技术或改进的技术,在研制过程中是否会对项目的开展产生风险的影响。专家运用德尔菲法确定两个判断准则的权重分别为 φ_1, φ_2 。

设子技术元素共为 n 个,项目专家为 m 个。在模糊层次分析法中,为了使判断定量化,关键在于设法使两个方案对于某一准则的相对重要程度得到定量描述。FAHP 法一般采用 $0.1 \sim 0.9$ 标度和 $0.0.5, 1$ 标度方法,采用 $0.1 \sim 0.9$ 标度,其描述如表 1 所示^[13]。

表 1 $0.1 \sim 0.9$ 标度
Table 1 Scale $0.1 \sim 0.9$

因素比因素	标度
同等重要	0.5
稍微重要	0.6
明显主要	0.7
强烈重要	0.8
极端重要	0.9
若因素 i 与因素 j 重要性为 a_{ij} , 则因素 j 与因素 i 重要性之比为 $1 - a_{ij}$	
反比较	

对于不同情况的评比给出数量标度来定义模糊判断矩阵 A ,判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 的形式一般为

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中:元素 a_{ij} 表示子技术元素 i 相对于子技术元素 j 的重要程度, a_{ij} 满足以下关系:

$$\begin{cases} a_{ii} = 0.5 \\ a_{ij} = 1 - a_{ji} \end{cases} \quad (2)$$

此时矩阵 A 称为模糊互补矩阵^[14]。根据专家意见建立的每个矩阵均为模糊互补矩阵,其变换后可得到模糊一致矩阵 C 。

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

模糊一致矩阵不仅满足模糊互补矩阵条件,矩阵中各元素 c_{ij} 还满足:

$$\begin{cases} 0 \leq c_{ij} \leq 1 \\ c_{ij} = c_{ik} - c_{jk} + 0.5, \quad i, j, k = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (4)$$

矩阵 C 中各元素与矩阵 A 的关系为

$$c_{ij} = \frac{a_i - a_j}{2(n-1)} + 0.5 \quad (5)$$

式(5)中: a_i, a_j 分别为矩阵 A 中第 i, j 行中各元素的和, n 为项目的个数^[15-16]。

3 各子技术元素重要度计算

模糊层次分析法求解元素的权重方法有多种。对于模糊判断矩阵来说,其权重与矩阵本身有关,对于模糊层次分析法,权重求解方法也有多种,其中一种权重计算方法为

$$\omega_i = \beta^{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij}} / \sum_{k=1}^n \beta^{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{kj}} \quad (6)$$

式(6)中: β 为决定权重分辨率的参数,参数越大代表关键的目标其权重值越大而非关键的目标权重值越小^[17]。

根据专家意见得到的各子技术元素相对于两个判断准则的权重分别为

$$\omega^{p1} = (\omega_1^{p1} \quad \omega_2^{p1} \quad \cdots \quad \omega_n^{p1})^T \quad (7)$$

$$\omega^{p2} = (\omega_1^{p2} \quad \omega_2^{p2} \quad \cdots \quad \omega_n^{p2})^T \quad (8)$$

式中:上标 p 表示第 p 位专家意见;上标 1、2 分别表示判定准则重要性和风险性;下标 $1, 2, \dots, n$ 表示 n 个子技术元素。

根据第 p 位专家意见确定的关于各子技术元素

的权重为

$$\mathbf{W}^p = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_1^p \\ \mathbf{W}_2^p \\ \vdots \\ \mathbf{W}_n^p \end{bmatrix} = (\omega^{p1} \quad \omega^{p2}) \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \omega_1^{p1} \varphi_1 + \omega_1^{p2} \varphi_2 \\ \omega_2^{p1} \varphi_1 + \omega_2^{p2} \varphi_2 \\ \vdots \\ \omega_n^{p1} \varphi_1 + \omega_n^{p2} \varphi_2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

由于专家权重的存在, 故结合专家权重与专家意见得到各子技术元素的重要度, 即

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_1 \\ \mathbf{W}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{W}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{p=1}^m \mathbf{W}_1^p \mathbf{E}_p \\ \sum_{p=1}^m \mathbf{W}_2^p \mathbf{E}_p \\ \vdots \\ \sum_{p=1}^m \mathbf{W}_n^p \mathbf{E}_p \end{bmatrix} \quad (10)$$

根据子技术元素的重要度及各专家的意见即可识别出关键技术元素^[18]。

4 应用实例

堆芯水位监测系统针对核电压力容器内正常运行和事故后水位的连续在线监测。是核反应堆安全运行必需的核心测量仪器。以某堆芯水位监测仪为应用实例, 识别该系统的关键技术元素, 为进行系统的技术就绪水平评估奠定基础。

堆芯水位监测系统主要包含水位探测和信号处理两个子系统。对其进行工作结构分解如图3所示。由图3可知, 堆芯水位监测系统子技术元素为探测器一体化集成技术、加热功率优化技术^[19]、信号实时传输技术、A/D信号转换技术、信号延迟消除技术、模块化技术、信息交互技术。

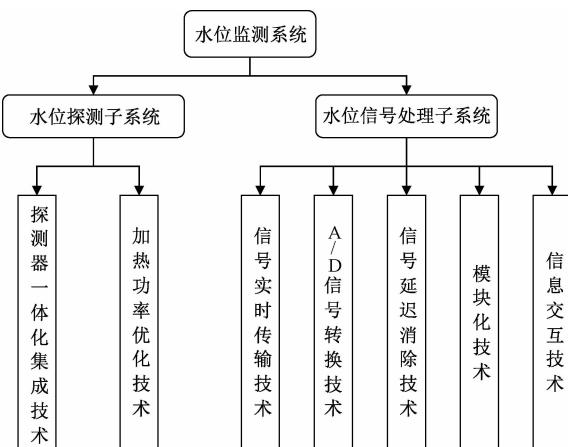


图3 堆芯水位监测系统工作结构分解图

Fig. 3 Working structure decomposition diagram of core water level monitoring system

按照图2建立层次排序结构, 邀请5名专家分别是来自行业技术专家3名, 项目管理专家1名和行政管理专家1名。对各位专家采用互评的方式得到专家的权重分别为0.26、0.22、0.18、0.18、0.16重要性和风险性。专家采用德尔菲法, 对系统讨论得出, 对于堆芯运行状态监测仪, 技术元素的风险性大于重要性, 故判断准则重要性与风险性的权重分别为0.4、0.6。专家依据判断准则分别对子技术元素建立模糊判断矩阵分别为

$$\mathbf{A}_{11} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.9 & 0.8 & 0.6 & 0.8 \\ 0.4 & 0.5 & 0.7 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.7 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.4 & 0.6 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.5 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \\ 0.4 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.8 \\ 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.2 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\mathbf{A}_{21} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 0.7 & 0.6 & 0.8 \\ 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.8 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.6 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.4 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \\ 0.4 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.7 \\ 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{A}_{31} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 0.7 & 0.7 & 0.8 \\ 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.8 \\ 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.4 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.6 \\ 0.3 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.7 \\ 0.2 & 0.2 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\mathbf{A}_{41} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.9 & 0.7 & 0.6 & 0.8 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.7 \\ 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.4 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.6 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.7 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\mathbf{A}_{51} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 0.7 & 0.7 & 0.8 \\ 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.7 \\ 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.2 & 0.4 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.4 \\ 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.6 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$A_{12} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.8 & 0.9 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.7 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.7 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$A_{22} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.8 & 0.6 & 0.8 & 0.9 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.8 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.7 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.6 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$A_{32} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.9 & 0.7 & 0.6 & 0.9 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.8 & 0.6 & 0.7 \\ 0.3 & 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.7 \\ 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$A_{42} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.8 & 0.6 & 0.7 & 0.8 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.8 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.7 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$A_{52} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.9 & 0.6 & 0.7 & 0.8 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.7 \\ 0.3 & 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.6 \\ 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.4 \\ 0.4 & 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.6 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.7 & 0.4 & 0.5 & 0.8 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.2 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (20)$$

根据式(5)得到模糊一致矩阵,并通过式(6),设 β 为10,计算得到各个专家关于两个准则下子技术元素的重要度意见分别为

$$\omega^{11} = (0.480\ 8 \ 0.245\ 6 \ 0.056\ 1 \ 0.014\ 6 \ 0.037\ 5 \ 0.143\ 5 \ 0.021\ 9)^T \quad (21)$$

$$\omega^{21} = (0.388\ 6 \ 0.339\ 7 \ 0.051\ 8 \ 0.015\ 5 \ 0.045\ 3 \ 0.132\ 7 \ 0.026\ 5)^T \quad (22)$$

$$\omega^{31} = (0.443\ 1 \ 0.296\ 1 \ 0.051\ 7 \ 0.015\ 4 \ 0.051\ 7 \ 0.115\ 7 \ 0.026\ 4)^T \quad (23)$$

$$\omega^{41} = (0.468\ 0 \ 0.209\ 1 \ 0.062\ 4 \ 0.014\ 2 \ 0.054\ 6 \ 0.159\ 8 \ 0.031\ 9)^T \quad (24)$$

$$\omega^{51} = (0.458\ 9 \ 0.234\ 4 \ 0.053\ 5 \ 0.014\ 0 \ 0.035\ 8 \ 0.156\ 7 \ 0.046\ 8)^T \quad (25)$$

$$\omega^{12} = (0.446\ 2 \ 0.174\ 3 \ 0.174\ 3 \ 0.030\ 4 \ 0.089\ 0 \ 0.068\ 1 \ 0.017\ 8)^T \quad (26)$$

$$\omega^{22} = (0.459\ 0 \ 0.234\ 5 \ 0.137\ 0 \ 0.023\ 9 \ 0.091\ 6 \ 0.035\ 8 \ 0.018\ 3)^T \quad (27)$$

$$\omega^{32} = (0.518\ 9 \ 0.177\ 2 \ 0.135\ 4 \ 0.020\ 7 \ 0.060\ 5 \ 0.069\ 2 \ 0.018\ 1)^T \quad (28)$$

$$\omega^{42} = (0.400\ 2 \ 0.204\ 4 \ 0.178\ 7 \ 0.027\ 3 \ 0.091\ 3 \ 0.079\ 8 \ 0.018\ 2)^T \quad (29)$$

$$\omega^{52} = (0.494\ 7 \ 0.168\ 9 \ 0.129\ 1 \ 0.019\ 7 \ 0.086\ 3 \ 0.075\ 5 \ 0.025\ 8)^T \quad (30)$$

结合专家权重,判断准则的重要性,得到各技术元素最后的重要度结果分别为

$$W = (0.456\ 1 \ 0.222\ 4 \ 0.113\ 7 \ 0.020\ 9 \ 0.068\ 5 \ 0.095\ 2 \ 0.023\ 4)^T \quad (31)$$

综合专家意见得出,各个子技术元素重要度排名为:探测器一体式集成技术、加热功率优化技术、信号实时传输技术、模块化技术、信号延迟消除技术、信息交互技术、A/D信号转换技术。由结果可知,探测器一体式集成技术、加热功率优化技术、信号实时传输技术重要度相对较大,是关键技术元素,结合专家意见,专家对于模块化技术与信号延迟消除技术进行讨论,认为此模块化技术在进行信号传输、处理、输出过程中,运用较多,占据重要地位,可作为关键技术元素。信息交互技术与A/D信号转换技术重要度较低不作为关键技术元素。

5 结论

由于专家先验知识、学习、研究领域的不同和客观事物的复杂性,对于传统的关键技术元素识别时,具有较大的主观性,且耗时较长。基于FAHP进行关键技术元素的识别具有一定优势。

(1)此方法是将定性问题转换为将定量与定性方法结合起来解决的问题,在识别过程中,不全部依赖于专家的主观思想,较为客观。

(2)在识别的流程中,每个专家根据识别准则,分别对子技术元素做模糊判断矩阵,根据每个专家的判断矩阵做技术元素重要度的计算,省去了专家对每一个子技术元素进行逐项讨论,既可以节约不必要的时问,也节省成本。

(3)运用模糊一致性矩阵,可以省去传统层次分析法中判断矩阵一致性检验调整的步骤,计算更为简便。

同时,FAHP在进行关键技术元素识别时,也存在着一定的不足:分辨率 β 的大小影响权重的

大小,参数越大则重要性大的权重越大,重要性低的权重数越小,同时又存在专家的权重以及判定准则的权重影响最后的重要度计算结果,可能有一定的误差。

参 考 文 献

- 1 周小林,武思宏,李骞,等.技术就绪度方法在国家科技计划项目评估中的应用[J].科技管理研究,2017,37(3):158-162.
Zhou Xiaolin, Wu Sihong, Li Qian, et al. Application of technology readiness method in evaluation of national science and technology projects[J]. Research on Science and Technology Management, 2017, 37(3): 158-162.
- 2 夏炜,邓平煜,陈稀亮.基于软件关键技术元素的技术成熟度评价[J].航空电子技术,2012,43(3):36-38.
Xia Wei, Deng Pingyu, Chen Shiliang. Technology maturity assessment based on critical technological elements of software[J]. Avionics Technology, 2012, 43(3): 36-38.
- 3 肖维忠.基于技术成熟度评价的航天科研项目管理研究[D].天津:天津大学,2014.
Xiao Weizhong. Research on space science research project management based on technology maturity assessment[D]. Tianjin: Tianjin University, 2014.
- 4 周平.基于TRL的先进医疗器械技术成熟度评价方法研究[D].北京:北京协和医学院,2015.
Zhou Ping. Research on technology maturity assessment method of advanced medical devices based on TRL[D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2015.
- 5 任长晟.武器装备体系技术成熟度评估方法研究[D].西安:国防科学技术大学,2010.
Ren Changsheng. Research on technology maturity assessment method of weapon equipment system[D]. Xi'an: University of Defense Science and Technology, 2010.
- 6 朱永国,陶斌斌,宋利康,等.基于粗糙集和信息熵的技术成熟度关键技术要素识别方法[J].现代制造工程,2018(1):1-5.
Zhu Yongguo, Tao Binbin, Song Likang, et al. Recognition method of key technology elements of technology maturity based on rough sets and information entropy [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2018(1): 1-5.
- 7 崔怀鹏,武俊峰,梁燕华.基于层次分析法的冲击地压模糊综合评价[J].科学技术与工程,2019,19(26):136-140.
Cui Huapeng, Wu Junfeng, Liang Yanhua. Fuzzy comprehensive evaluation of rockburst based on AHP[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(26): 136-140.
- 8 周逢道,白冉明.基于模糊物元法的电力电容器的绝缘状态评估[J].科学技术与工程,2019,19(15):157-162.
Zhou fengdao, Bai Ranming. The evaluation on insulation state of power capacitors based on fuzzy matter element method[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(15): 157-162.
- 9 Saaty T L, Kearns K P. The analytic hierarchy process[M]. New York: Mc Craw Hill, 1980.
- 10 白建光,王建军,冀晓东,等.基于层次-模糊分析法的城市内涝生态治理评价[J].科学技术与工程,2018,18(16):7-11.
Bai Jianguang, Wang Jianjun, Ji Xiaodong, et al. Evaluation of urban waterlogging ecological management based on AHP fuzzy analysis [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18 (16): 7-11.
- 11 Nezarat H, Sereshki F, Ataei M. Ranking of geological risks in mechanized tunneling by using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP)[J]. Tunnelling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research, 2015, 50: 358-364.
- 12 蒋文能.群组决策中专家权重确定的思路和方法[J].统计与决策,2013(2):24-28.
Jiang Wenneng. Ideas and methods for determining expert weights in group decision-making [J]. Statistics and Decision-Making, 2013 (2): 24-28.
- 13 刘颖芬,占济舟.FAHP中的一致性与标度[J].东北师大学报(自然科学版),2010,42(2):27-30.
Liu Yingfen, Zhan Jizhou. Consistency and scaling in FAHP[J]. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition), 2010, 42(2): 27-30.
- 14 汪应洛.系统工程[M].第二版.北京:机械工业出版社,2003.
Wang Yingluo. Systems engineering [M]. 2nd ed. Beijing: Machinery Industry Press, 2003.
- 15 穆永铮,鲁宗相,乔颖,等.基于多算子层次分析模糊评价的电网安全与效益综合评价指标体系[J].电网技术,2015,39(1):23-28.
Mu Yongzheng, Lu Zongxiang, Qiao Ying, et al. Comprehensive evaluation index system of power grid security and benefit based on multi-operator hierarchical analysis and fuzzy evaluation[J]. Power Grid Technology, 2015, 39(1): 23-28.
- 16 陈莉萍,哈渭涛.信息系统的改进多层次模糊综合评价模型[J].科学技术与工程,2008,8(17):5054-5058.
Chen Liping, Ha Weitao. Improved hierarchical fuzzy comprehensive evaluation model of information system[J]. Science Technology and Engineering, 2008, 8 (17): 5054-5058.
- 17 兰继斌,徐扬,霍良安,等.模糊层次分析法权重研究[J].系统工程理论与实践,2006,26(9):107-112.
Lan Jibin, Xu Yang, Huo Liangan, et al. Weight study of fuzzy analytic hierarchy process[J]. System Engineering Theory and Practice, 2006, 26(9): 107-112.
- 18 李涛.基于模糊层次分析法和灰色关联分析方法的变电站选址研究[D].郑州:郑州大学,2014.
Li Tao. Research on substation location based on fuzzy analytic hierarchy process and grey relational analysis method[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2014.
- 19 黄国良.核电厂反应堆堆芯中子与温度探测器组件研制[J].核电子学与探测技术,2014,34(2):267-270.
Huang Guoliang. Development of nuclear reactor core neutron and temperature detector assembly[J]. Nuclear Electronics and Detection Technology, 2014, 34(2): 267-270.