

基于熵权法-AHP法航空制氧制氮站安全评价指标体系权重确定方法研究

胡宗顺, 黄之杰, 朱倩, 刘慎洋

(空军勤务学院 航空四站系, 江苏 徐州 221000)

摘要: **目的** 提出一种改进的航空制氧制氮站安全评价指标体系权重确立的方法。**方法** 在构建航空制氧制氮站安全评价指标体系的基础上, 综合利用层次分析法、熵权法的优点, 将影响因素的主观性与客观性相结合, 最后得出各指标综合权重。**结果** 将本文方法所得权重与熵权法、AHP法等4种方法所得结果进行比较, 本方法适用性更高, 可提高评价结果的可信性。**结论** 通过对某制氧制氮站保障实例分析, 该方法客观合理, 可为航空四站保障风险控制提供判断依据。

关键词: 航空制氧制氮站; 安全评价; 熵权法; 层次分析法; 综合权重

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.04.016

中图分类号: TJ85; X913.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)04-0077-05

Weight Determination of Safety Evaluation Indicator System of the Aerial Oxygen and Nitrogen Station Based on AHP-Entropy Weight Method

HU Zong-shun, HUANG Zhi-jie, ZHU Qian, LIU Shen-yang
(Department of Aviation Four Stations, Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: Objective To propose an improved weight determination method for safety evaluation of aerial oxygen and nitrogen station. **Methods** Based on constructing a safety evaluation indicator system of an aerial oxygen and nitrogen station, AHP and entropy method were used comprehensively to combine subjectivity and objectivity of influencing factors, to obtain the comprehensive weight of each indicator. **Results** After comparing this result with that obtained by other 4 methods such as entropy weight method, APH, etc., this method was more applicable and can improve the creditability of results. **Conclusion** Through an example analysis of one aerial oxygen and nitrogen station, this method is objective and reasonable, it could be used as a judgment basis for risk control on protection of the four stations.

KEY WORDS: aerial oxygen and nitrogen station; safety evaluation; entropy weight method; AHP; comprehensive weight

制氧制氮站安全评价是航空四站保障安全评价中的重要部分, 评价方法以安全检查表法, 事故树分析法, 故障类型、影响及危险度分析法^[1-3]为主, 但是随着评价因素的复杂化, 会时常出现检查效果不稳定的现象, 特别是对一些潜在问题不够敏感, 并且这一过程受主观和经验的局限大。层次分析(AHP)法被

大量应用在工业化学领域, 但其主观性较强, 存在评价过程中的随机性和评价专家主观上的不确定性^[4]。熵权法是一种根据评价指标所提供信息量大小来确定权重的客观赋权法, 具有较强的数学理论依据, 可以对人们赋权的主观性进行部分修正, 但确定的权重有时与实际不符。为合理地评价主、客观因素对制氧

制氮站的影响,文中结合两种方法的优点,在确定制氧制氮站评价体系指标的基础上,充分考虑各风险因素的权重分配,得出综合权重,并进行实例分析^[5]。

1 制氧制氮站评价体系指标的构建

制氧制氮站保障涉及到气体的生产过程、存储过程和运输过程,消防与电气设施等结构复杂,相互间存在指标重叠现象,导致评价指标过于繁琐且不准确。在广泛搜集资料的基础上,咨询专家意见,剔除影响不大、不宜收集、相关性弱的指标,提出了内外场保障、装备管理、设施建设等三个准则层,在此准则层下,细化得到13个不同的具体评价指标,构成一个相对完整的制氧制氮站评价指标体系。内外场保障包含内场秩序、内场生产、气体质量及飞行等三个阶段;装备管理包含气瓶管理、气瓶充装、一般性装设备使用;设施建设包括通用设施、消防设施、工作间规范、防火防爆设施^[6-7]。

2 熵权和 AHP 法确定权重的原理与步骤

用层次分析法解决问题首先要确立层次结构模型,通过两两比较,判断针对上一层某因素而言,本层次与之有关的各因素之间的相对重要性,然后计算重要性并进行排序。层次分析法可将定性分析与定量分析相结合,有很强的实用性和科学性^[8]。

熵是热力学中的重要概念,它最先由 Shannon 引入信息论,表示一个信息源发出的信号状态不确定的程度。用熵权表示评价指标的相对重要程度,认为评价差异程度越大,该指标的信息量就越大,即指标对应权重也越大^[9]。

2.1 熵权法确定权重的步骤

1) 假设专家 N_j 对评价指标 V_{ijk} 的打分结果为 u_{ji} , 则指标的信息熵为:

$$e_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n \mu_A(u_{ji}) \ln \mu_A(u_{ji}) \quad (1)$$

式中: $\mu_A(u_{ji}) = u_{ji} / \sum_{j=1}^n u_{ji}$, n 为参与打分的专家总人数。

2) 定义第 i 个指标的 $\mu_A(u_{ji})$ 差异因素:

$$g_i = 1 - e_i \quad (2)$$

3) 计算第 i 个指标的权重为:

$$w_i = g_i / \sum_{i=1}^n g_i \quad (3)$$

最后得到指标体系的权重向量:

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (4)$$

2.2 AHP 法确定权重的步骤

1) 建立系统的递阶层次结构。建立制氧制氮站的层次结构是运用层次分析法确定权重中最重要的第一步。在咨询专家的基础上,分析场站各因素之间的联系和相互影响,并将它们划分层次。一般建立指标层 X , 准则层 V , 目标层 U 三级递阶层次结构模型。

2) 构造判断矩阵。通过专家评估或历史数据,对同一层次的各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较,根据 1~9 位标度法^[5]对不同情况的评比给出数量标度,构成判断矩阵。

3) 层次单排序及一致性检验。所谓层次单排序是指根据判断矩阵计算对于上一层某因素而言,本层次与之有联系的因素的重要性次序的权值。对判断矩阵 A , 计算满足的特征根与特征向量。 λ_{\max} 为 A 的最大特征根, W 为对应于 λ_{\max} 的正规化特征向量, W 的分量 即是相应因素单排序的权值。为避免出现前后判断不一致的情况,需进行一致性检验。

$$CR = CI / RI \quad (5)$$

式中: CI 为一致性指标, $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$; RI 为随机一致性指标,查表可得^[5]。当 $CR < 0.10$ 时,便认为判断矩阵具有满意的一致性。否则,就需要调整判断矩阵,使之满足式(5),从而达到满意的一致性^[10-11]。

4) 层次总排序及一致性检验。计算同一层次所有因素对于总目标相对重要性的排序权值的过程称为层次总排序,下一层次各因素的权重既要考虑本层次的相互关系,还要考虑到上一层次的权因子。通过从最高级到最低级逐层计算求出组合权重,再进行一致性检验。

3 综合权重的确定

运用熵权法求得的权值大小取决于各指标相对竞争的激烈程度,所提供的客观信息差异大,则相对重要性就高,因此会出现不太重要的指标因为客观数据浮动大而得到较小的权重,而重要的指标由于一致性高而权重偏小,显然不合理。层次分析法能进行层次化、数量化分析并用数学工具提供定量依据,特别在涉及大量相关因素,数据收集量大时,能利用人的经验简化问题,优势明显,但很难排除个人因素对指标权重的影响。同时,将系统划分为递阶层次结构时,只考虑了上层元素对下层元素的支配作用,同层元素被认为是彼此独立的,这限制了它在复杂决策问题中的应用^[12]。

将两种方法结合,经过一定方法的运算规整,得到的数据更能反映实际情况。目前确定综合权重方法多为以下两种:

1) 将熵权法求得的客观权重 α_i 与层次分析法得到的主观权重 β_i 相结合, 得到综合权重 ω_i ^[13]。

$$\omega_i = \alpha_i \beta_i / (\sum_{i=1}^n \alpha_i \beta_i) \quad (6)$$

这种方法在求综合权重时, 只是将两种方法求得的指标简单糅合进行归一化处理, 并没有将两种方法求取权重的中间过程有机地融合起来。而且可能将权重的差异性扩大, 使综合权重失调, 不能体现指标的实际重要程度。

2) 设定折中系数 ε , 将求得指标再次进行权重分配^[14]。

$$\omega_i = \varepsilon \alpha_i + (1 - \varepsilon) \beta_i \quad (7)$$

其中 ε 越大, 则代表熵权法确定的数值对综合权重的影响更大; 反之, AHP 法确定的数值对综合权重影响更大。大多数情况取 $\varepsilon=0.5$, 即重要性对等。这种方法能适应不同环境需求, 但对于折中系数如何确定依然带有强烈的主观性。

3) 在参考以上两种方法的基础上, 提出一种新的权重综合法。具体步骤为: ①设有指标体系共有 n 个准则层, m 个指标层, 准则层对应指标个数分别为 m_1, m_2, \dots, m_n , 且 $m_1+m_2+\dots+m_n=m$ 。用 AHP 法

确定的准则层的权重为 $\Phi=\{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n\}$, 指标层确定的权重为 $B=\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ 。②熵权法确定的权重为 $A=\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\}$, 将同准则层内的指标进行归一化处理得 $A'=\{\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{1m_1}, \alpha_{21}, \alpha_{22}, \dots, \alpha_{2m_2}, \dots, \alpha_{nm_n}\}$, 如 $\alpha_{11} = \alpha_1 / (\sum_{i=1}^{m_1} \alpha_i)$ 。③将归一化所得权重 A' 与对应准则层权重 Φ 相乘得到权重, $A''=\{\alpha'_{11}, \alpha'_{12}, \dots, \alpha'_{1m_1}, \alpha'_{21}, \alpha'_{22}, \dots, \alpha'_{2m_2}, \dots, \alpha'_{nm_n}\}$, 其中 $\alpha'_{ij} = \varphi_i \alpha_{ij}, i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, l, \in (m_1, m_2, \dots, m_n)$ 。④将所得权重 A'' 重新整理得 $A'''=\{\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_m\}$, 并与层次分析法得到的主观权重 β_i 相结合, 得到综合权重 $\omega_i = \alpha'_i \beta_i / \sum_{i=1}^n \alpha'_i \beta_i, i=1, 2, \dots, n$ 。

4 算例分析

邀请 5 位四站装备修理厂的专家、航空四站系教授组成评价小组, 对制氧制氮站的评价指标赋予分值。评价以问卷形式开展, 按照百分制进行, 分值越高说明该指标在保障中存在的风险因素越大。专家评分结果见表 1。

表 1 专家评分

评价指标体系		专家评价分值				
准则层	指标层	1	2	3	4	5
内外场保障	内场秩序 V_{11}	82	85	79	91	86
	内场生产 V_{12}	72	68	76	80	71
	气体质量 V_{13}	76	86	90	88	79
	飞行准备阶段 V_{14}	53	56	61	60	52
	飞行实施阶段 V_{15}	72	60	62	65	60
	飞行讲评阶段 V_{16}	23	30	24	24	25
装备管理	气瓶管理 V_{21}	80	92	91	97	79
	气瓶充装 V_{22}	95	85	87	80	86
	一般性装设备使 V_{23}	56	50	48	46	45
设施建设	通用设施 V_{31}	39	49	46	45	45
	消防设施 V_{32}	38	34	35	39	31
	工作间规范 V_{33}	59	60	64	62	67
	防火防爆设施 V_{34}	57	48	51	55	60

4.1 AHP 权重计算

根据 2.2 节 AHP 法计算步骤, 结合文献[5]中计

算公式, 综合专家的评判结果, 内外场保障的 6 个二级指标的数据见表 2。

由于数据计算量大, 调用 MATLAB 函数可对矩

表 2 内外场保障 AHP 分析

V_1	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{14}	V_{15}	V_{16}	W_i	W_i^0	λ_{mi}
V_{11}	1	1	2	2	3	5	1.978 602	0.280 216	6.027 928
V_{12}	1	1	2	2	3	4	1.906 369	0.269 986	6.068 867
V_{13}	1/2	1/2	1	2	2	3	1.200 937	0.170 08	6.204 308
V_{14}	1/2	1/2	1/2	1	2	4	1	0.141 623	6.207 891
V_{15}	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2	0.617 715	0.087 483	6.035 031
V_{16}	1/5	1/4	1/3	1/4	1/2	1	0.357 377	0.050 613	6.124 792
		$\lambda_{\max}=6.111 469$		$CI=0.022 294$		$CR=0.017 694$			

阵计算得出权重值。同理，装备管理、设施建设的二级指标计算数据见表3和表4。

表3 装备管理 AHP 分析

V_2	V_{21}	V_{22}	V_{23}	W_i	W_i^0	λ_{mi}
V_{21}	1	1/2	2	1	0.296 961	3.009 203
V_{22}	2	1	3	1.817 121	0.539 615	3.009 203
V_{23}	1/2	1/3	1	0.550 321	0.163 424	3.009 203
$\lambda_{\max}=3.009 203$						$CI=0.004 601$ $CR=0.008 849$

表4 设施建设 AHP 分析

V_3	V_{31}	V_{32}	V_{33}	V_{34}	W_i	W_i^0	λ_{mi}
V_{31}	1	2	1/2	1	1	0.227 351	4.005 175
V_{32}	1/2	1	1/3	1/2	0.537 285	0.122 152	4.015 91
V_{33}	2	3	1	2	1.861 21	0.423 147	4.015 165
V_{34}	1	2	1/2	1	1	0.227 351	4.005 175
$\lambda_{\max}=4.010 356$						$CI=0.003 452$ $CR=0.003 879$	

准则层权重 $W = (0.493 386, 0.195 8, 0.310 814)$ 。经整理，各指标权重见表5。

表5 综合权重分析

准则层	指标层	熵权权重	AHP权重	综合权重1	综合权重2	综合权重3
内外场保障	内场秩序 V_{11}	0.035 316	0.138 255	0.086 786	0.076 832	0.086 436
	内场生产 V_{12}	0.050 225	0.133 207	0.091 716	0.105 278	0.118 438
	气体质量 V_{13}	0.064 89	0.083 915	0.074 403	0.085 686	0.096 396
	飞行准备阶段 V_{14}	0.063 923	0.069 875	0.066 899	0.070 286	0.079 072
	飞行实施阶段 V_{15}	0.075 689	0.043 163	0.059 426	0.051 409	0.057 834
	飞行讲评阶段 V_{16}	0.145 767	0.024 972	0.085 37	0.057 28	0.064 44
装备管理	气瓶管理 V_{21}	0.102 118	0.058 145	0.080 132	0.093 434	0.073 517
	气瓶充装 V_{22}	0.048 359	0.105 657	0.077 008	0.080 402	0.063 263
	一般性装设备使用 V_{23}	0.096 804	0.031 998	0.064 401	0.048 743	0.038 352
设施建设	通用设施 V_{31}	0.083 691	0.070 664	0.0771 78	0.093 061	0.090 698
	消防设施 V_{32}	0.103 379	0.037 967	0.070 673	0.061 763	0.060 195
	工作间规范 V_{33}	0.032 841	0.131 52	0.082 181	0.067 967	0.066 241
	防火防爆设施 V_{34}	0.096 997	0.070 664	0.083 831	0.107 857	0.105 118

4.2 熵权计算

由2.1节熵权法的计算步骤，利用Excel工具，计算出各指标的数据权重见表5。

4.3 综合权重计算

按照综合权重运算步骤分别计算三种综合权重的权值见表5。

4.4 综合权重分析

1) 从熵权法确定的权重来看，内场生产所占权重少，权重最高的是飞行讲评阶段，这是由评价小组意见一致程度决定的。如飞行讲评阶段打分为23, 30, 24, 24, 25，处于风险较小阶段，但由于极差大，导致所得权值大，显然不合理。

2) 在使用AHP法计算时，前4个指标权重超过0.4，可见评估小组较重视内场保障，除此之外其他指标比较均衡。参考近几年的10个安全事故案例，因电路问题导致制氧终止的案例有3个，可见通用设施也应重点考虑，层次分析法更多的反映专家的主观意见，与现实有较大差距。

3) 两种常用的综合权重，是将权重值简单地综合，并没有在考虑内部指标联系的基础上进行着重的强化或者弱化。对于综合权重1，其指标权重数值几乎在0.07-0.09之间，没有针对性，与客观实际相差甚大，不能作为安全评估的依据。由综合权重2可以看出，装备管理的各指标权重偏高，气瓶管理与气瓶充装的权重排名分别为第3与第5，高于内外场保障的大部分指标。导致的原因，在熵权法的权重中的指标占了更大的比重，使得最后结果偏向于熵权法的结果。参考规范化材料汇总，在设定的标准分值中，内场200分、外场180分、装备管理120分，且记录的10起典型案例中只有1起因切换阀损坏导致制氧工作终止。由此可见，有关装备的指标权重应相应弱化。

4) 在综合权重3中，通用设施、工作间规范等指标权重较前两种综合权重法有所降低而比熵权法有所提升，这样一定程度上避免了由于人的主观性导致最终结果不合理的情况。同时将层级之间与同层各元素间的关联进行了整合，既重点考虑了内外场保障，又兼顾了装备及设施建设，在一定程度上做到了主观和客观的结合，具有较强的可信度。

5 结语

底层指标权重的确定是进行安全评价的重要环节，文中在了解多种方法优缺点的基础上，创新改进了熵权-AHP综合权重法，既体现了专家对不同指标的经验，同时也客观反映了各指标数据的全部信息。实例验证表明，此方法优化了指标属性，结果符合客观实际，具有较强的科学性和合理性，并具有一定的推广使用价值。

参考文献：

- [1] 庞奇志, 李艳芳, 雷芳, 等. 制氧企业安全现状评价技术方法探讨[J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 3(2): 114—117.
- [2] 安强, 胡双启, 程松. 制氧企业安全评价方法探讨[J]. 安全与环境工程, 2011, 18(1): 85—88.
- [3] 韩瑜, 赵亚男, 吴江峰. 安全模糊综合评价在制氧企业的应用[J]. 广州化工, 2011, 39(11): 182—184.
- [4] 汪应洛. 系统工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [5] 荣联伟, 师学义. 基于 AHP 和熵权法的县域耕地整理潜力评价[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(2): 454—462.
- [6] 陈洪, 赵建忠, 刘勇, 等. 基于集对论和主客观综合赋权法的装备保障能力评估研究[J]. 装备环境工程, 2016, 13(1): 151—155.
- [7] 胡宗顺, 黄之杰. 制氧制氮站安全评价指标体系研究[J]. 空军勤务学院学报, 2016, 27(2): 13—16.
- [8] 赵新好, 姚安林, 郭磊, 等. 基于 AHP-熵权法的输气站场区块风险因素权重确定方法研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(10): 91—96.
- [9] 李元年. 基于熵理论的指标体系区分度测算与权重设计[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [10] 赵建忠, 张磊, 李保刚. 武器装备维修器材供应效果的模糊综合评估方法研究[J]. 装备环境工程, 2015, 12(1): 45—50.
- [11] 胡振山, 徐红领, 于泉, 等. 基于层次分析法与熵权法的定额幅度差[J]. 北京工业大学学报, 2014, 40(9): 1371—1378.
- [12] 陈婷婷, 宋永发. 基于 AHP-TOPSIS 的地铁车站施工方案比选[J]. 工程管理学报, 2012, 26(2): 33—36.
- [13] 刘杨, 陈亚哲, 李祥松, 等. 基于层次分析法和熵值法的产品广义质量综合评价方法[J]. 中国工程机械学报, 2009, 7(4): 494—498.
- [14] 王书明. 基于层次分析法和熵权法的煤矿安全投入综合评价模型及其应用[J]. 金陵科技学院学报, 2011, 27(4): 8—16.