

基于熵权法的呼吸机质量综合评价研究

姚文宇^① 李杰^① 李岩峰^① 高娜^① 王涛^{①*}

①联勤保障部队药品仪器监督检验总站 北京 100071

[摘要] 针对呼吸机质量综合评价现实需求, 构建了考量技术性能、通用性能、在用质量等多评价维度的呼吸机质量综合评价模型; 选择熵权法基础模型, 基于标准分析, 选定重要指标加入质量综合评价模型; 建立各项指标参数的归一化、赋值评分处理方法, 通过实验数据和部分模拟数据验证模型, 形成完整的熵权法呼吸机质量综合评价模型。最后使用实验数据对模型可行性进行验证。

[关键词] 熵权法; 呼吸机; 质量综合评价

Comprehensive evaluation of ventilator quality based on entropy weight method

Yao Wenyu, Li Jie, Li Yanfeng, Gao Na, Wang Tao

[Abstract] According to the practical needs of ventilator quality comprehensive evaluation, a ventilator quality comprehensive evaluation model considering multi-dimensional evaluation dimensions such as technical performance, general performance and in-service quality is constructed; The basic model of entropy weight method is selected. Based on standard analysis, important indexes are selected to join the quality comprehensive evaluation model; The normalization, assignment and scoring processing methods of various index parameters are established, and the model is verified by experimental data and some simulated data to form a complete comprehensive evaluation model of ventilator quality by entropy weight method. Finally, the experimental data are used to verify the feasibility of the model.

[Key words] Entropy weight method; Ventilator; Comprehensive quality evaluation.

[First-author's address] Administration for Drug and Instrument Supervision and Inspection of PLA JLSF, Beijing 100071, China.

呼吸机作为一种生命支持设备, 它的质量安全以及稳定性极为重要。在医疗器械风险评价体系中, 呼吸机在各类医用设备的临床风险评价中高达12分, 属于临床使用风险最高的医疗设备, 如果出现问题, 将对患者的生命安全造成重大威胁, 所以对呼吸机进行定期的质量控制检测, 对检测过程中发现的问题及时处理, 保证呼吸机的准确性、可靠性, 使其更好的服务临床患者非常重要^[1]。而现有质量评价研究对设备技术性能考虑较多, 但是对设备在用质量和通用质量性能评价和考虑较少, 评价维度比较单一, 因此本文选择熵权法基础模型建立一种新的呼吸机质量综合评价模型进行研究^[2-3]。根据熵权法构建计算出熵与熵权值、正负理想值、正负距离、贴近度, 最终得到实验用呼吸机优劣程度结果。

1 熵权法数学模型

熵权法是一种理论上的数学方法, 其源于热力学, 由申农引进信息理论, 是描述系统状态不确定性的一种度量^[4]。从信息论的角度上解释, 信息是系统有序程度的一种度量, 熵是系统无序程度的一种度量, 两者绝对值相等, 但符号相反。根据此性质, 信息熵越小, 信息无序程度越小, 有用的信息价值越大; 指标权重越大, 熵权就越大, 反之, 熵权越小^[5-9]。在项目评估和目标决策过程中, 评估者往往考虑评价指标的相对重要程度, 反映指标权重大小。按熵思想, 决策过程中获得信息质量多少, 直接影响决策精度和可靠性。熵权法是一种客观的赋值方法, 以获得信息质量为基础, 信息熵计算出各指标的熵权, 再通过熵权对各个指标进行修正, 计算出客观指标权重。在分析项目方案优劣的各类主观赋值评价方法中, 熵权法具有精度高、客观性强、评价性好等特点, 计算步骤如下。

1.1 构建目标矩阵

假设有 m 个对象, n 个评价指标, 构建初始评价矩阵 $X=(x_{ij})_{mn}$, 其中 x_{ij} 表示第 i 个对象指标 j 下的数值。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & \cdots & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & \cdots & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

对初始矩阵标准化处理, 得矩阵 R。其中 $r_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$, $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & \cdots & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & \cdots & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

1.2 利用熵权法计算各指标权重

熵是一种不确定性的度量, 用 f_{ij} 表示第 i 个项目第 j 个指标的不确定性, 该评价的熵(S)用公式(3)表示。

$$S_j = -k \times \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其中, $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij}$, $k = 1 / \ln m$, k 值大于 0, 熵权的定义用公式(4)表示。

$$w_j = (1 - S_j) / \sum_{j=1}^n (1 - S_j), \quad (0 \leq w_j \leq 1, \sum_{j=1}^n w_j = 1) \quad (4)$$

从式(3)和式(4)可以看出, 信息量越大越明确, 熵权就越大, 熵就越小。

1.3 构建加权目标矩阵

将公式(4)求解的权重带入公式(2), 形成加权目标矩阵 v (5):

$$v = (v_{ij}) = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & \cdots & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & \cdots & \cdots & w_n r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_1 r_{m1} & \cdots & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & \cdots & \cdots & v_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ v_{m1} & \cdots & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

1.4 确定正理想解和负理想解

$$\text{正理想解 } v^+ = \max(v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{mj})$$

$$\text{负理想解 } v^- = \min(v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{mj}) \quad (6)$$

其中正理想解 v^+ 的第 j 个属性值 v_j^+ , 负理想解 v^- 的第 j 个属性值 v_j^- 。

1.5 评价对象到正负理想解的距离

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

1.6 评价指标与理想解的相对贴近度

$$c_i = d_i^+ / (d_i^+ + d_i^-) \quad (8)$$

其中 $0 \leq c_i \leq 1$, $i = 1, 2, 3, \dots, m$ 。

2 基于熵权法的呼吸机质量综合评价模型

2.1 建立评价指标体系

部队卫生器材质量综合评价模型对器材的技术性能、使用性能和通用质量特性等多方面进行分析, 参考呼吸机现行标准, 综合考虑呼吸机综合评价实际需要, 呼吸机质量综合评价模型对呼吸机专业技术性

能、通用技术性能、自然环境适应性、通用质量性能、在用质量关键性能等多方面提出质量评价指标，建立呼吸机综合评价指标体系，见表 1。

表 1 呼吸机综合质量评价指标

项目	一级指标编号	一级指标	二级指标编号	二级指标
呼吸机 质量综合 评价模型 A	B1	专业技术性能	C1	潮气量精度
			C2	呼吸频率精度
			C3	气道峰压精度
			C4	吸气氧浓度精度
	B2	通用技术性能	C5	电气安全性能
			C6	电磁兼容性能
			C7	抗高温性能
	B3	自然环境适应性	C8	抗低温性能
			C9	抗振动性能
			C10	抗盐雾性能
	B4	通用质量性能	C11	维修性
			C12	安全性
	B5	在用质量性能	C13	报警功能

2.2 数据的归一化处理

在进行评价时，关键问题是确定各个评价指标的权重。权重反映了各评价指标之间的相对重要性，当评价对象和评价指标确定后，评价结果就完全依赖于权重系数取值，因此，权重系数合理性将直接影响评价结果的合理性、客观性与可信性。

权重系数是通过计算初始矩阵中各指标数值得到的，在熵权法数学模型中，初始评价矩阵中各指标数值需要一致，才能进行标准化处理和后续计算分析，而部队卫生器材质量综合评价指标体系内各评价指标的检测数据并不具有一致性，无法直接用于模型的计算分析。因此，为满足模型计算分析要求，需要对各指标测量或评价结果进行归一化数据处理，统一为百分制表示，然后再进行模型计算和分析，数据归一化处理方法如下。

对于一级指标中专业技术性能和自然环境适应性两项指标，采用定量测量的方法对数据进行归一化处理，具体方法如下。首先针对指标对应标准进行符合性判定，不符合参照标准要求的，统一赋值 50 分；符合参照标准要求的按照以下公式做线性归一化处理：

$$C_i = (|X_{\text{测量误差}} - X_{\text{标准允差}}| / X_{\text{标准允差}}) \times 40 + 60, i=1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

式中， $X_{\text{测量误差}}$ 是对应二级指标的实测误差， $X_{\text{标准允差}}$ 是指标准中允许的最大允差。

对于一级指标中通用技术性能、自然环境适应性、在用质量性能三项指标，由于难以定量评估，采用定性的方法，根据对应二级指标的测试结果定性评价（优、良、中），分别赋值 95、85、75，若测试结果不满足标准要求，则赋值 50；符合参照标准要求的最终分数为对应所有二级指标的平均值。

2.3 构建归一化初始矩阵

选择 6 台北京谊安医疗系统股份有限公司的 Shangrila590 型呼吸机的检测数据作为研究对象，结合 6 台设备的出厂检测数据、自然环境适应性检测数据及同型号产品的注册检验报告，按照 2.2 中描述的数据归一化处理方法依次对二级指标数据进行处理，得到初始矩阵数据如表 2 所示。

表 2 初始矩阵数据

设备序号	二级指标												
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
1	81.87	86.8	90	76	92.5	91.67	80.47	78.1	86.23	74.96	85	90	95

2	80.8	86.8	84	84	92.5	91.67	79.9	83.2	85.53	78.8	85	90	95
3	84	86.8	88	92	92.5	91.67	84.13	83.6	83.43	78.9	85	90	95
4	79.2	86.8	82	84	92.5	91.67	80.3	80.97	83.1	77.2	85	90	95
5	78.4	86.8	92	84	92.5	91.67	83.9	76.7	84.83	78.46	85	90	95
6	79.2	73.2	88	84	92.5	91.67	80.3	78.63	83.7	80.23	85	90	95

2.4 对矩阵数据进行标准化处理

用式(2)对归一化矩阵数据进行标准化处理,结果如表 3 所示。

表 3 标准化数据

设备 序号	二级指标												
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
1	0.169	0.171	0.172	0.151	0.167	0.167	0.165	0.162	0.170	0.160	0.167	0.167	0.167
2	0.167	0.171	0.160	0.167	0.167	0.167	0.163	0.173	0.168	0.168	0.167	0.167	0.167
3	0.174	0.171	0.168	0.183	0.167	0.167	0.172	0.174	0.165	0.168	0.167	0.167	0.167
4	0.164	0.171	0.156	0.167	0.167	0.167	0.164	0.168	0.164	0.165	0.167	0.167	0.167
5	0.162	0.171	0.176	0.167	0.167	0.167	0.172	0.159	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
6	0.164	0.144	0.168	0.167	0.167	0.167	0.164	0.163	0.165	0.171	0.167	0.167	0.167

2.5 计算熵权值

将处理后的标准化数据代入式(3),求得熵值 s_j 。再将熵值代入式(4),求得各指标的熵权值 w_j ,结果如表 4 所示。

表 4 熵值及熵权值计算表

指标	熵值	熵权值
C1	0.9998433847	0.0510098714
C2	0.9989582071	0.3393137166
C3	0.9995754446	0.1382784285
C4	0.9991550153	0.2752129727
C5	1.0000000000	0.0000000000
C6	1.0000000000	0.0000000000
C7	0.9998663697	0.0435236063
C8	0.9997090068	0.0947769868
C9	0.9999485540	0.0167560622
C10	0.9998737239	0.0411283555
C11	1.0000000000	0.0000000000
C12	1.0000000000	0.0000000000
C13	1.0000000000	0.0000000000

2.6 计算正理想解和负理想解

将熵权代入规范化矩阵,再根据公式(6)确定正理想解和负理想解,计算结果如表 5 所示。

表 5 正理想解、负理想解计算结果

指标	正理想解	负理想解
C1	0.00886266	0.00827181
C2	0.05806867	0.04897035
C3	0.02427789	0.02163899

C4	0.05023729	0.04150037
C5	0.00000000	0.00000000
C6	0.00000000	0.00000000
C7	0.00748802	0.00711153
C8	0.01646583	0.01510681
C9	0.00285086	0.00274738
C10	0.00704242	0.00657983
C11	0.00000000	0.00000000
C12	0.00000000	0.00000000
C13	0.00000000	0.00000000

2.7 计算各项目的贴近度

根据公式(7)计算出各评价对象正理想解与负理想解的优差值距离。根据公式(8)计算各项目的贴近距离, 计算结果如表 6 所示。

表 6 6 台呼吸机贴近度计算结果

呼吸机编号	正距离	负距离	贴近距离
1	0.008841	0.009352	0.4859
2	0.004880	0.010196	0.3237
3	0.001066	0.012809	0.0768
4	0.005174	0.010130	0.3381
5	0.004616	0.010443	0.3065
6	0.010213	0.004686	0.6855

3 讨论

由表4可知, 专业技术性能中C2(呼吸频率精度)的熵值最小, 说明其无序程度最小, 有用的信息价值最大, 指标权重最大, 其次为C4(吸气氧浓度精度)。C5(电气安全)、C6(电磁兼容)、C11(维修性)、C12(安全性)、C13(报警性能)熵值最大, 说明数据确定程度大, 无用信息最多, 因此熵权值为最小, 自然环境适应性中C8(抗低温性能)熵值小, 说明呼吸机抗低温性能实验数据更为“整齐”和“集中”越有序, 熵权越大。装备通用性能及报警功能评价熵值均一样, 在贴近度计算中权重占比一样。

根据相对贴近度公式(8)描述, 最优理想值差距越小、与最差理想值差距越大时, 设备属性最优, 即贴近距离越小设备最优。由表6可以看出, 这六台呼吸机优劣程度为: 3>2>1>4>5>6, 符合数据大体直观表达结果。

目前, 现有质量评价研究对设备技术性能考虑较多, 但是对设备在用质量和通用质量性能评价和考虑较少, 评价维度比较单一, 因此以呼吸机作为典型市场选型卫生器材进行质量综合评价, 目的是对呼吸机的技术性能、使用性能和通用质量特性进行分析, 从出厂技术性能、在用质量性能、自然环境适应性、勤务适应性、装备通用性能等多方面提出质量评价指标, 分析各方面对设备质量的影响权重和交互影响, 基于已建立的分析模型, 形成针对呼吸机的质量综合评价模型, 新的评价模型不局限于国家行业技术标准, 更包涵切合部队实际使用的质量评价指标, 开展呼吸机质量综合评价分析。

在呼吸机质量综合评价中, 各性能权重占比的选择是合理评价的重要环节, 而熵权法利用信息的无序性可计算出各性能的熵权。通过对大量呼吸机参数监测的原始数据加以处理, 得出各项指标的权重, 得到的权重系数充分体现呼吸机在使用时各性能参数的重要性。利用熵权法作为数学模型的呼吸机质量评价结果主要依据客观资料, 所得到的指标权重仅受验证实验数据的影响, 因此用此方法得到的结果避免了受到人为因素的影响。

验证试验结果体现的 6 台呼吸机的优劣程度, 符合数据大体直观表达结果, 表明该模型达到预期效果, 通过实际数据验证可行, 由贴近度可从专业技术参数、通用技术参数、自然环境适应性和勤务适应性、装备通用性能、在用质量性能五方面综合评价呼吸机质量。该模型计算简便、客观准确、计算结果合理, 具

有广泛的推广面和较高应用价值,能客观地反映呼吸机质量,有效避免主观评价的不稳定性和离散性,为开展呼吸机质量综合评价提供了理论和数据支撑,但由于个别性能指标采用主观赋值的方式,评分不够细化严谨,后期待改进和完善。

参考文献

- [1] 郭恩宇,高鹏,刘秋莲.医疗设备风险评估与安全管理[J].中国医学装备,2012,9(4):3.
- [2] 肖胜春,卢兴平,曹德森,等.呼吸机通气质量检测及质量评估方法[J].中国医疗设备,2008,23(1):4.
- [3] 王舒婷.基于熵权法的高职院校教师教学质量评价模型的构建与应用——以学生评教为视角[J].黑龙江生态工程职业学院学报,2019,32(6):4.
- [4] 高一翔,任征.信息论与热力学函数[J].西北纺织工学院学报,1999(1):37-42.
- [5] 蔡雅玲,洪范宗,高文娜,等.熵权法在医疗设备预防性维护计划中的应用研究[J].医疗卫生装备,2019,40(9):4.
- [6] 陆阳,杨林,戴剑峰.基于灰色理论和熵权法的医疗设备报废评估体系研究与应用[J].中国医疗设备,2019,34(6):4.
- [7] 刘振临,许锋,田金,等.熵权法在手术无影灯技术评估中的应用[J].中国医疗设备,2015,30(1):3.
- [8] 刘涛,邓平基,孟晓谕.基于熵权法的医疗质量综合评价[J].中国卫生统计,2009.
- [9] 刘宁,张鹭鹭,任国荃,等.军队药材联勤保障效能评估研究[J].解放军医院管理杂志,2006,13(2):110-112.

*通信作者:王涛,男,1988,博士,高级工程师,从事医学装备计量、质控、检测工作。

作者简介:姚文字,男,(1989-),硕士,工程师,从事医学装备计量、质控、检测工作。

课题名称:部队卫生器械质量综合评价及质量控制技术研究

课题类型:军队装备技术基础课题课题编号:182LB31001

(中国医学装备协会医学装备计量测试专业委员会)