

基于ISM与AHP的呼吸机失效影响因素的分析

陈雯¹, 顾宏清²

1.上海市长宁区精神卫生中心 行政科, 上海 200335; 2.上海市儿童医学中心 设备科, 上海 200127

[摘要] 本文利用解释结构模型对呼吸机失效影响因素进行分析并建立三级递阶结构模型, 同时利用层次分析法对呼吸机失效影响因素的重要度进行计算。经过分析探讨发现: 与管理因素有关的影响因素权重值最高, 对呼吸机失效影响最大; 在所有最低层影响因素里沟通缺失、记忆误差、培训不到位排在前三位。为医院在呼吸机使用管理过程中如何改进预防措施降低失效率提供可信依据。

[关键词] 呼吸机管理; 影响因素; 解释结构模型; 权重分析; 层次分析法

Analysis on the Influence Factors of Ventilator Failure Based on ISM and AHP

CHEN Wen¹, GU Hongqing²

1.Department of Administration, Shanghai Changning District Mental Health Center, Shanghai 200335, China;

2.Department of Equipment, Shanghai Children's Medical Center, Shanghai 200127, China

Abstract: This paper analyzed the influence factors of ventilator failure and constructed the three-tier hierarchical structure model using interpretative structural modeling. Then, the affecting degree of influence factors of ventilator failure was calculated by using analytic hierarchy process. The result indicated that management related factor had greatest influence on ventilator failure. The top three underlying factors in sequence were inadequate information communication, memory error and training.

Key words: ventilator management; influence factor; interpretation structure model; weight analysis; analytic hierarchy process

[中图分类号] R473.6

[文献标识码] A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2018.01.014

[文章编号] 1674-1633(2018)01-0057-04

引言

随着机械通气技术的快速应用, 呼吸机已经成为在麻醉呼吸应用、呼吸衰竭治疗以及危重患者抢救等方面行之有效的急救设备。如果呼吸机的在临床应用过程中, 管理使用不当, 直接关系到对患者的救治与治疗是否有效、安全, 甚至造成患者死亡, 导致医患纠纷。因此, 在呼吸机的日使用管理工作中, 对其失效的关注以及影响因素分析已成为医疗设备管理者工作的重点之一。

1 呼吸机使用管理失效的必然性

墨菲定律指出^[1-2]: 如果任何事物能够发生差错, 这种差错重复多次总是会发生的。随着医疗技术的进步, 机械通气已成为维持生命不可缺少的医疗途径, 呼吸机的临床应用日益广泛。尽管我们的医务工作者在多方面做了大量工作, 然而在呼吸机的日使用管理工作中, 依旧存在着发生差错的可能性。根据墨菲定律, 工作中发生差错是必然发生的。

2 呼吸机使用管理失效的可防控性

呼吸机的日使用管理工作中的差错实际上也存在着差错链, 只要在工作中对其中的某一个差错环进行防控, 这样就在一定时期内避免事故的发生。所以分析呼吸机使用管理中的失效影响因素并计算其重要度, 能够改善和保证呼吸机在临床应用过程中的连续性和可靠性, 高效地开展培训、维护、质控等管理工作提供依据。

3 解释结构模型理论

解释结构模型 (Interpretative Structural Modeling, ISM)^[3], 其主要是将复杂系统分解为若干子系统, 以研究人员实践经验和知识为基础, 电子计算机为辅助手段, 最终将系统构造成一个多层递阶解释结构模型, 可以把模糊不清的想法转化为直观的具有良好结构关系的模型^[4]。

4 呼吸机的失效影响因素分析

呼吸机的失效影响因素诸多, 经过调研、查阅资料^[5-7]、评估医院呼吸机使用管理以及设备维护和质控管理的历史数据, 以及专家组 (2名科主任、4名工程师、4名

收稿日期: 2017-05-22
作者邮箱: 18964742830@163.com

修回日期: 2017-06-26

护士长、4名护理责任组长、2名急救科医生、2名呼吸科医生、2名不同厂家的维修工程师)的头脑风暴,并利用Reason模型挖掘呼吸机的失效表层影响因素和隐含影响因素^[8]。最终经过统计分析和探讨得到了设备因素、人为因素、环境因素、管理因素4大直接差错来源分类,18个主要差错影响因素,见表1。

呼吸机失效影响因素模型中实体 S_i 和 S_j 间主要有以下关系:① S_i 和 S_j 有关系而 S_j 和 S_i 无关系,邻接矩阵元素 $a_{ij}=1, a_{ji}=0$;② S_i 和 S_j 无关系而 S_j 和 S_i 有关系,邻接矩阵元素 $a_{ij}=0, a_{ji}=1$;③ S_i 和 S_j 与 S_j 和 S_i 均无关系,邻接矩阵元素 $a_{ij}=0, a_{ji}=0$ 。为了确定呼吸机失效的18个影响因素之间的关系,我们选择了全院有两台以上呼吸机的科室进行了问卷调查,共收到有效问卷207份,有效回收率达到91%,经过筛选和讨论,根据各因素的相互影响关系建立邻接矩阵A,见图1。

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 & S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} & S_{17} & S_{18} \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \\ S_{14} \\ S_{15} \\ S_{16} \\ S_{17} \\ S_{18} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图1 邻接矩阵A

应用 Matlab 编程,根据式: $M=(A+I)^{k+1}=(A+I)^k \neq (A+I)^{k-1}$ 计算得到可达矩阵,见图2。

再根据式: $L_j=\{S_k|P(S_k) \cap Q(S_k),k=1,2,\dots,n\}$,找到各级元素,将可达矩阵进行优化、浓缩,并按层次级别划分,

得到 L_1, L_2, L_3 三层,重新排列可达矩阵得到最简可达矩阵 M' ,见图3。

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 & S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} & S_{17} & S_{18} \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \\ S_{14} \\ S_{15} \\ S_{16} \\ S_{17} \\ S_{18} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图2 可达矩阵

$$M' = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_7 & S_8 & S_5 & S_{18} & S_6 & S_{15} & S_9 & S_{10} & S_4 & S_{11} & S_{14} & S_{13} & S_{12} & S_{16} & S_{17} & S_3 & S_2 & S_1 \end{matrix} \\ \begin{matrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} S_7 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_8 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_5 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{18} & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_6 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{15} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_9 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{10} & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_4 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{11} & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{14} & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{16} & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ S_{17} & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ S_3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ S_2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ S_1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

图3 最简可达矩阵 M'

画出结构模型:按从高到低的顺序画出每一级别中的节点,相同级别中的节点位于同一水平线上,按照重新排列后的可达矩阵,找出在分块矩阵中的“1”元素所对应的节点,画出相邻两级之间的连接,然后依照结构有向图与结构模型的对应关系,画出模型即可,见图4。

5 呼吸机失效影响因素重要度计算

呼吸机失效影响因素解释结构模型最底层的影响因素

表1 呼吸机失效影响因素

序号	差错来源	差错影响因素	因素编码		
1	设备因素	界面设置不合理(包括操作界面、参数设置布局等不合理)	S_1		
		软件系统未更新(包括内部接口软件、操作系统等未更新)	S_2		
		防错设计不完善(包括误触碰保护、参数限值保护等不完善)	S_3		
2	人为因素	注意力不集中(指工作人员的专注度不够,工作时思想分散)	S_4		
		技术能力不达标(包括医学专业知识和操作技术能力不够)	S_5		
		决策误差(指主管层的人为决策行为误差)	S_6		
		未按规程操作(操作人员的操作执行度欠缺)	S_7		
		工作疏漏(指因人为疏忽造成不完整操作)	S_8		
		记忆误差(指工作人员记忆误差)	S_9		
		性格差异(工作人员自身性格情绪化的不良影响)	S_{10}		
		3	环境因素	时间太紧迫(指工作人员因赶时间而产生差错)	S_{11}
				温湿度不适宜(指设备所处的环境温湿度不适宜)	S_{12}
环境照度不够(指设备所处的环境照度不够)	S_{13}				
4	管理因素	培训不到位(指上岗培训和继续教育培训不到位)	S_{14}		
		监督检查不严谨(指操作考核、质控检查等不严格)	S_{15}		
		沟通缺失(包括上下级的沟通和交接班等沟通不畅)	S_{16}		
		各类提示不充分(包括警戒标志、SOP标志、易混标志等不显著)	S_{17}		
		操作流程不合理(指相关的工作流程和SOP不合理)	S_{18}		

中包含有与设备因素、人为因素、环境因素、管理因素，对各因素影响重要程度对制定预防失效至关重要。本文采用层次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP）对影响因素重要度进行计算排序^[9-10]。

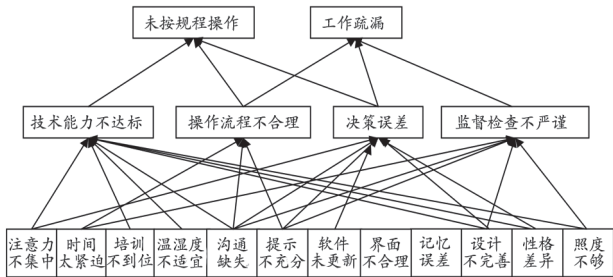


图4 呼吸机失效影响因素解释结构模型

5.1 呼吸机失效影响因素层次分析结构模型的构建

根据图1建立层次分析的结构模型，见图5，其中将与设备因素、人为因素、环境因素、管理因素4个分类准则作为中间层，将图1中最底层因素放在第三层。

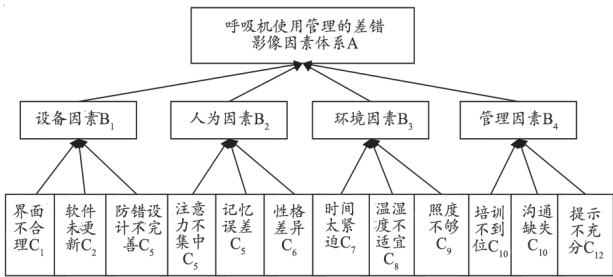


图5 呼吸机失效影响因素层次分析结构模型

5.2 呼吸机失效影响因素层次分析判断矩阵的构造

AHP 主要是对每一层中各因素对上一层某一准则（或目标）的影响程度，确定在该层中相对于某一准则所占的比重，而通过引入合适的标度进行量化就形成了判断矩阵^[11]。直接确定有关因素的相对重要性一般情况下很困难，因此 AHP 用两两比较的方式建立判断矩阵^[12-13]。设与上层某因素有关的 n 个因素为 x_1, x_2, x_3 ，用 a_{ij} 表示 x_i 和 x_j 关于上一层的影响比值，一般使用 1~9 及其倒数共 17 个数作为标度来确定 a_{ij} 的值，即 9 标度法^[14-16]，见表 2。

表2 9标度的含义

含义	x_i 和 x_j 同等重要	x_i 和 x_j 稍重要	x_i 和 x_j 重要	x_i 和 x_j 强烈重要	x_i 和 x_j 极重要
a_{ij}	1	3	5	7	9
取值	1	2	4	6	8

对于呼吸机失效影响因素层次分析结构模型中各阶层因素之间的相对重要度，我们仍然采取的是问卷调查的方式，我们同样选择了全院有两台以上呼吸机的科室进行了问卷调查，共收到有效问卷 197 份，有效回收率达到 86%，经过筛选和讨论，得到判断矩阵见表 3~7。

5.3 呼吸机失效影响因素层次单排序及一致性检验

层次单排序是指根据判断矩阵计算出某层次因素相对于上一层中某一因素的相对重要性权值，本文采用方根法

进行计算。首先计算各行元素乘积的 n 次方根。

$$M = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

再次进行向量 M 归一化处理：

$$\omega_{ij} = M_i / \sum_{j=1}^n M_j \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

得到权重值构成的权重向量 ω ，最后通过计算判断矩阵的最大特征值：

$$\lambda_{max} = 1/n \sum_{i=1}^n \frac{(A\omega)_i}{\omega_i} \quad (3)$$

其中 $(A\omega)_i$ 为 $A\omega$ 的第 i 个分量，计算一致性指标 $C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ ，若一致性比率： $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$ 小于 0.1，（ $R.I.$ 查表可得），认为判断矩阵有满意一致性。 $A-B_i, B_1-C_i, B_2-C_i, B_3-C_i, B_4-C_i$ 的计算权值、一致性检验值，见表 3~7。

表3 A-B_i层判断矩阵与排序指标权重计算

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	ω
B ₁	1	1/2	4	1/3	0.1877
B ₂	2	1	3	1/2	0.2734
B ₃	1/4	1/3	1	1/4	0.0789
B ₄	3	2	4	1	0.4599

注：一致性检验： $\lambda_{max}=4.1532, C.I.=0.0511, R.I.=0.9, C.R.=0.0568 < 0.1$ ，有满意一致性。

表4 B₁-C_i层判断矩阵与排序指标权重计算

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	ω
C ₁	1	6	3	0.6548
C ₂	1/6	1	1/3	0.0953
C ₃	1/3	3	1	0.2499

注：一致性检验： $\lambda_{max}=3.0183, C.I.=0.0091, R.I.=0.58, C.R.=0.0158 < 0.1$ ，有满意一致性。

表5 B₂-C_i层判断矩阵与排序指标权重计算

B ₂	C ₁	C ₂	C ₃	ω
C ₁	1	1/3	2	0.2385
C ₂	3	1	4	0.6250
C ₃	1/2	1/4	1	0.1365

注：一致性检验： $\lambda_{max}=3.0183, C.I.=0.0091, R.I.=0.58, C.R.=0.0158 < 0.1$ ，有满意一致性。

表6 B₃-C_i判断矩阵与排序指标权重计算

B ₃	C ₁	C ₂	C ₃	ω
C ₁	1	3	3	0.5936
C ₂	1/3	1	1/2	0.1571
C ₃	1/3	2	1	0.2493

注：一致性检验： $\lambda_{max}=3.0536, C.I.=0.0268, R.I.=0.58, C.R.=0.0462 < 0.1$ ，有满意一致性。

表7 B₄-C_i判断矩阵与排序指标权重计算

B ₄	C ₁	C ₂	C ₃	ω
C ₁	1	1/3	3	0.2684
C ₂	3	1	4	0.6144
C ₃	1/3	1/4	1	0.1172

注：一致性检验： $\lambda_{max}=3.0735, C.I.=0.0368, R.I.=0.58, C.R.=0.0634 < 0.1$ ，有满意一致性。

5.4 呼吸机失效影响因素层次总排序及一致性检验

层次总排序是指某一层次的所有因素相对于最高层的重要性权值，此次主要是计算呼吸机失效影响因素层次分析结构模型的最底层 12 个影响因素对于呼吸机失效影响重要度权值。利用公式 (4) 得到：

$$\omega_i^{(k)} = \sum_{j=1}^{n_{k-1}} \omega_{ij}^k = \omega_i^{(k-1)} (i=1,2,\dots,n_k) \quad (4)$$

沿递阶层次结构依次由上而下逐层计算，即可得到最低层因素相对于最高层的相对重要性权值。利用公式：

$$C.I.^{(k)} = (C.I._1^k, C.I._2^k, \dots, C.I._{n_{k-1}}^k) \omega^{(k-1)} = \sum_{j=1}^{n_{k-1}} \omega^{(k-1)} C.I._j^k \quad (5)$$

$$R.I.^{(k)} = (R.I._1^k, R.I._2^k, \dots, R.I._{n_{k-1}}^k) \omega^{(k-1)} = \sum_{j=1}^{n_{k-1}} \omega^{(k-1)} R.I._j^k \quad (6)$$

分别计算第 k 层一致性指标 C.I. 和平均随机一致性指标 R.I.，最后计算一致性比率，将其值和 0.1 进行比较。计算结果、排序及一致性检验结果，见表 8。

$$C.R.^{(k)} = \frac{C.I.^{(k)}}{R.I.^{(k)}} \quad (7)$$

表8 总层次排序指标计算

ω	计算结果	排序
C ₁	0.1229	4
C ₂	0.0179	11
C ₃	0.0469	7
C ₄	0.0652	5
C ₅	0.1709	2
C ₆	0.0373	9
C ₇	0.0468	8
C ₈	0.0124	12
C ₉	0.0197	10
C ₁₀	0.1234	3
C ₁₁	0.2826	1
C ₁₂	0.0539	6

注：一致性检验：C.I.=0.0697，R.I.=1.7398，C.R.=0.0401<0.1，有满意一致性。

6 结语

医院呼吸机使用管理过程中出现失效的原因是有多种的，利用 ISM 在建模中的优点，破解呼吸机失效影响因素多元素、关系复杂且结构不清晰的特点，建立了三阶影响因素递阶结构模型，能够清晰、直观地表示出因素间的因果关系和失效事件致因机理。同时利用 AHP 对呼吸机失效影响因素的重要度进行计算。经过分析探讨发现：与管理因素有关的影响因素权重值最高，对呼吸机失效影响最大；

在所有最低层影响因素里沟通缺失、记忆误差、培训不到位排在前 3 位。为医院在呼吸机使用管理过程中如何改进预防措施降低失效率提供可信依据。

[参考文献]

[1] 周荣妹.墨菲定律对安全管理的启示-细节决定成败[J].上海安全生产,2009,(10):50-51.

[2] Inabinet III GB.Murphys law-anything that can go wrong will go wrong[J].Infantry,2012,101(1):36.

[3] Nagpal S,Kumar A,Khatri SK.Modeling interrelationships between CSF in ERP implementations: total ISM and MICMAC approach[J].Internat J Sys Assur Engin Manag,2017,(1):1-17.

[4] 杨伟丽.基于ISM有向图的求可达矩阵的简介算法[D].厦门:厦门大学,2007.

[5] Morley CJ.Treatment of Respiratory Failure:Mechanical Ventilation[M].Berlin:Springer,2012:497-508.

[6] 李明航,王国宏,刘胜林,等.基于根本原因分析法对呼吸机的潜在风险进行研究[J].中国医疗设备,2012,27(10):14-16.

[7] 邴珍芳,张剑影.失效模式与效应分析在降低呼吸机故障发生率中的应用效果[J].现代医药卫生,2015,31(13):2050-2052.

[8] 雷宏振,徐旭,章倩如.基于REASON模型的临床路径风险因素分析[J].医学与社会,2011,24(3):18-19.

[9] Brunelli M.Introduction to the analytic hierarchy process[M].Berlin:Springer,2014.

[10] 张波.AHP基本原理简介[J].西北大学学报(自然科学版),1998,28(2):109-113.

[11] Baidya R,Dey PK,Ghosh SK,et al.Strategic maintenance technique selection using combined quality function deployment, the analytic hierarchy process and the benefit of doubt approach[J].Int J Adv Manuf Technol,2016:1-14.

[12] 陈雯兰,陈石平.基于AHP的学术论文质量评价方法研究[J].浙江工业大学学报,2012,40(2):222-225.

[13] 王琳.基于AHP的工程项目管理群决策方法[J].云南民族大学学报:自然科学版.2015,24(1):80-84.

[14] 李学平.用层次分析法求指标权重的标度方法的探讨[J].北京邮电大学学报(社会科学版),2001,3(1):25-27.

[15] 路正清,杨善林.层次分析法中几种标度的比较[J].系统工程理论与实践,2004,9:52-58.

[16] 王召义.基于指数标度的层次分析法在电商客服素质测评中的应用[J].河西学院学报,2016,32(2):85-90.

本文编辑 袁隽玲