

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2019.02.007

离心泵密封失效的模糊综合评价

彭雨萌¹, 祝海林^{1,2}, 金 林¹, 於 雷¹

(1.常州大学 机械工程学院,江苏 常州 213164;2.江苏省绿色过程装备重点实验室(常州大学),江苏 常州 213164)

摘要:由于影响离心泵密封失效的因素多且存在模糊不确定性,基于模糊理论,应用 AHP 建立离心泵密封失效的评价模型,确定了离心泵机械密封失效的评价指标体系,对某单位离心泵机械密封失效情况进行实际评价得到综合评价结果,确定失效等级。研究结果为提高离心泵使用寿命提供了理论依据,有助于提高维修人员对密封失效状况的判断能力。

关键词:离心泵;密封失效;层次分析法;模糊综合评价

中图分类号:TH 136

文献标志码:A

文章编号:2095-0411(2019)02-0052-05

Fuzzy Comprehensive Evaluation on Sealing Failure in Centrifugal Pump

PENG Yumeng¹, ZHU Hailin^{1,2}, JIN Lin¹, YU Lei¹

(1. School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Green Process Equipment, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: The sealing failure in centrifugal pump is caused by many factors with fuzzy uncertainty. Based on fuzzy theory, the AHP is adopted for building evaluation model of sealing failure in centrifugal pump to determine the evaluation index system of mechanical seal failure of centrifugal pump. This model has been applied to the evaluation on mechanical seal failure to obtain the result of the comprehensive evaluation and determine the failure level. The research results provide a theoretical basis for increasing the operational life span of centrifugal pumps, which improved the ability of the maintenance personnel to judge the seal failure condition.

Key words: centrifugal pump; sealing failure; AHP; fuzzy comprehensive evaluation

收稿日期:2018-10-02。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51075046)。

作者简介:彭雨萌(1994—),女,江苏徐州人,硕士生。通信联系人:祝海林(1963—),E-mail: zhl2008@cczu.edu.cn

引用本文:彭雨萌,祝海林,金林,等.离心泵密封失效的模糊综合评价[J].常州大学学报(自然科学版),2019,31(2):

52-56.

机械密封又称端面密封,在泵类产品中应用广泛,具有泄漏量少、工作可靠、适用范围广、使用寿命长等优势,尤其在输送易爆、易燃、有毒介质的离心泵结构中,机械密封虽然是很小的部件,却是设备安全运行的关键^[1]。离心泵密封失效在使用和维修设备中经常遇到,又是常常被人忽视的问题,失效后出现介质泄漏,影响其正常工作,严重时会造成机械事故^[2],因此如何判断离心泵早期密封失效,确保设备的安全运转就成为一个重要课题。造成密封失效的因素很多,很多因素难以精确表达,因此模糊综合评价为处理这类问题提供了有效途径^[3],本文运用层次分析法(AHP)和模糊综合评价法对离心泵机械密封失效进行了评价,提出了可行的对策和措施,能够克服传统失效分析方法存在的主观、片面的缺憾,有助于提高维修人员对密封失效状况的判断能力。

1 基于 AHP-模糊综合评价模型

将层次分析法(AHP)和模糊数学方法相结合建立 AHP-模糊综合评价法^[4-5],可发挥这两种方法的长处,以模糊数学为基础,全面考虑影响离心泵机械密封各种不同因素,结合定性和定量分析,对多因素、不确定性系统进行评价,能够减少个人主观所带来的偏差,评价结果更科学、客观。

模糊综合评价的评判流程图如图1所示。

1.1 确定因素集 U 和评价集 V

因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 为研究对象的 n 种指标的集合,有必要时可以对它做出分级分类的处理。评价集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 为诸指标的 m 种评价所构成的评价集,比较常见的评价结果为5个等级:很好,较好,一般,较差,很差。评价集的量化值 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 。

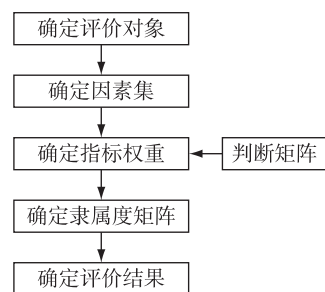


图1 模糊综合评价的流程图

1.2 应用 AHP 确定权重向量 W

AHP 即层次分析法,是确定多因素、复杂系统因素权重的有效方法。该方法将各个因素分组形成递阶层次结构,运用1~9比较尺度^[6-7]来确定各指标的相对重要性,最终构造判断矩阵。

用方根法计算权重,具体过程为:

1) 分别计算得到行元素的 M_j 积,具体公式为

$$M_j = \prod_{i=1}^n b_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

2) 分别计算各行 M_i 的几何平均数

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

3) 对向量 $\bar{W} = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n)^T$ 作归一化处理,即求 (W_i) 为所求的各指标的权重系数

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

在使用 AHP 法计算指标的权重系数^[8]时,需要保持判断的一致性。当矩阵完全一致时,应有最大特征根 $\lambda_{\max} = n$,当矩阵不一致时,则 $\lambda_{\max} > n$,可用一致性指标 C_1 来度量判断矩阵的一致性,其中

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

系数 R_1 为随机一致性指标, 经过大量的事实比较和理论分析, 专家对于 $n=1, 2, \dots, 11$ 给出了 R_1 的值, 具体见表 1。

因为判断矩阵阶数 n 的增加, 误差会变大, 因此在进行一致性检验时, 要考虑到 n 的影响。用随机一致性比重 C_R 来判断矩阵是否通过一致性检验, 具体公式为

$$C_R = C_1 / R_1 \tag{5}$$

C_R 越小, 结果越好。当 $C_R < 0.1$ 时, 可以接受一致性, 准则权重可信。否则需要修正判断值, 直到判断矩阵通过一致性检验。

表 1 随机一致性指标取值

阶数	3	4	5	6	...
R_1	0.52	0.9	1.12	1.26	...

1.3 隶属度矩阵 R

隶属度的确定是要分析第 i 个指标, 评定其属于评价集 V 上各评语可能性的大小。建立隶属度矩阵的原则是在符合实际的基础上, 结合专家经验, 注重模糊现象的具体特点。

1.4 综合评价

权重向量 W 和隶属度矩阵 R 确定后, 计算综合评价向量 $Q = W \cdot R$, 将评价结果定量化 $N = Q \cdot E^T$, 通过比较 N 和评价标准之间的关系, 最终确定评价结果。

2 实例分析

下面以某单位离心泵机械密封失效为例, 详细介绍进行 AHP-模糊综合评价的步骤。

2.1 建立评价因素集和评价集

由于影响离心泵机械密封失效的因素^[9-11]众多, 对该实例建立两级评价因素集, 其层次结构见表 2。

评价集可用 $V = \{\text{良好}, \text{较好}, \text{一般}, \text{较差}, \text{很差}\}$ 表示, 参数列向量为 $E = \{90, 80, 60, 40, 20\}$ 表示, 对评价集进行量化处理, 作为评分和评级的标准, 具体参照表 3。

表 2 离心泵机械密封失效评价指标

目标层	一级指标	二级指标
离心泵机械密封失效综合评价(A)	辅助密封泄漏(B ₁)	预紧力(C ₁₁)
		冲洗量(C ₁₂)
		辅助密封圈腐蚀情况(C ₁₃)
		辅助密封圈抗变形能力(C ₁₄)
	轴套与轴间的泄漏(B ₂)	叶轮备帽松动(C ₂₁)
		轴套表面损伤(C ₂₂)
		错误的安装程序(C ₂₃)
		叶轮、轴套和备帽的加工尺寸质量(C ₂₄)
	动环与静环间的泄漏(B ₃)	设备振动(C ₃₁)
		弹簧压缩量(C ₃₂)
		动、静环的材料性能(C ₃₃)
		泵用配件的加工精度等级(C ₃₄)

2.2 指标权重的确定

以层次结构模型为基础,通过专家判断对 B,C 层的各要素分别以上一层次为标准^[12]进行比较,分别得到 A-B,B₁-C,B₂-C,B₃-C 共 4 个判断矩阵。运用 MATLAB 编程可以得出各方案相对于总目标的层次总排序、权重及一致性检验。A-B 的判断矩阵计算结果见表 4。

其余 3 个判断矩阵用相同方法计算权重,各矩阵相对权重及一次性检验值见表 5。

表 4 A-B 判断矩阵及处理表

A	B ₁	B ₂	B ₃	权重	一致性检验
B ₁	1	1/3	1/3	0.140	C _R =0.046 2
B ₂	3	1	1/2	0.333	
B ₃	3	2	1	0.527	

表 3 等级参数量

评语	成绩区间	参数向量
良好(<i>v</i> ₁)	[90,100]	90
较好(<i>v</i> ₂)	[80,90]	80
一般(<i>v</i> ₃)	[60,80]	60
较差(<i>v</i> ₄)	[40,60]	40
很差(<i>v</i> ₅)	[20,40]	20

表 5 各个矩阵相对权重及一次性检验值

矩阵	相对权重	一致性检验 C _R
B ₁ -C	$w = [0.467, 0.096, 0.277, 0.160]^T$	0.011 5
B ₂ -C	$w = [0.088, 0.272, 0.127, 0.483]^T$	0.005 4
B ₃ -C	$w = [0.135, 0.189, 0.246, 0.430]^T$	0.079 7

最终得到各判断矩阵的一致性检验值均小于 0.1,因此符合标准。最终确定其权重向量 **W**,结果见表 6。

2.3 模糊综合评价

隶属度通过专家打分确定,对 12 个二级指标按照“良好,较好,一般,较差,很差”这 5 个评价等级评价,并进行归一化处理^[13],最终确定隶属度矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.33 & 0.44 & 0.06 & 0 \\ 0.34 & 0.18 & 0.46 & 0.02 & 0 \\ 0.14 & 0.24 & 0.35 & 0.15 & 0.12 \\ 0.26 & 0.28 & 0.35 & 0.15 & 0 \\ 0.32 & 0.33 & 0.35 & 0 & 0 \\ 0.48 & 0.28 & 0.12 & 0.12 & 0 \\ 0.18 & 0.45 & 0.22 & 0.15 & 0 \\ 0.21 & 0.23 & 0.38 & 0.18 & 0 \\ 0.22 & 0.32 & 0.16 & 0.12 & 0.18 \\ 0.19 & 0.35 & 0.35 & 0.11 & 0 \\ 0.15 & 0.35 & 0.37 & 0.08 & 0 \\ 0.14 & 0.39 & 0.45 & 0.02 & 0 \end{bmatrix}$$

表 6 层次总权重表

一级指标	权重	二级指标	权重	层次总权重
B ₁	0.140	C ₁₁	0.467	0.065 4
		C ₁₂	0.096	0.013 4
		C ₁₃	0.277	0.038 8
		C ₁₄	0.160	0.022 4
B ₂	0.333	C ₂₁	0.088	0.029 4
		C ₂₂	0.272	0.090 6
		C ₂₃	0.127	0.052 3
		C ₂₄	0.483	0.160 8
B ₃	0.527	C ₃₁	0.135	0.070 9
		C ₃₂	0.189	0.099 6
		C ₃₃	0.246	0.129 6
		C ₃₄	0.430	0.226 8

由此可知综合评价结果为

$$Q = W \cdot R = (0.208\ 7, 0.326\ 5, 0.346\ 3, 0.094\ 5, 0.017\ 4)$$

进一步对其进行量化处理,则

$$N = Q \cdot E^T = (0.208\ 7, 0.326\ 5, 0.346\ 3, 0.094\ 5, 0.017\ 4) \cdot (90, 80, 60, 40, 20)^T = 69.816\ 6$$

对比表 3,可知总体来说该离心泵机械密封失效的失效等级为一般,不需要立刻检修,只要定期维护就好,可以继续运行。

3 结 论

采用基于 AHP-模糊综合评价法的离心泵密封失效评价模型,将定量计算与定性分析相结合,能够全面考虑影响离心泵机械密封失效的多种模糊因素,确定离心泵机械密封失效的等级,提高维修人员对密封失效状况的判断能力,加强对离心泵的安全使用管理,降低系统的运行成本。

参考文献:

- [1]梅国庭.集装式机械密封在离心泵上的应用[J].机电工程技术,2017,46(10):168-170.
- [2]蒋龙.流体动压式机械密封在离心泵上的改进与研究[D].成都:西华大学,2016.
- [3]罗通元.模糊综合评价法在往复泵安全评价中的应用[J].化工管理,2015(30):218-220.
- [4]廖斌.基于 AHP 的模糊综合评价法在建筑施工安全评价中的应用[J].中国安全生产科学技术,2013,9(10):172-176.
- [5]何世权,孟静华,李斌.安全阀失效模糊综合评价方法的研究[J].中国安全科学学报,2009,19(1): 145-149.
- [6]MENG R F, YANG H F, LIU C L. Evaluation of water resources carrying capacity of Gonghe basin based on fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Journal of Groundwater Science and Engineering, 2016, 4(3): 213-219.
- [7]胡宝清.模糊理论基础[M].2 版.武汉:武汉大学出版社,2010:183-185.
- [8]那日萨.模糊系统数学及其应用[M].北京:清华大学出版社,2017:133-135.
- [9]姜克彬.离心泵机械密封失效原因分析[J].化工管理,2016 (25):195.
- [10]姜文全,杨帆,贺启良,等.ERP32-200 离心泵机械密封失效原因分析[J].辽宁石油化工大学学报,2013,33 (3): 70-74.
- [11]王伟平.离心泵机械密封失效的原因与对策探索[J].产业与科技论坛,2015,14(7):64-65.
- [12]李雪飞.通用离心泵机械密封装置的故障分析及对策[D].大庆:东北石油大学,2015.
- [13]SHAO F, WANG X. Fuzzy evaluation method for performance of reciprocating plunger pump unit in high pressure water thermal descaling system based on AHP[J]. Journal of Drainage & Irrigation Machinery Engineering, 2016, 34 (7): 591-596.

(责任编辑:李艳)