

文章编号:1674-2869(2015)12-0027-04

基于层次分析法的高压隔膜泵安全的指标体系

姚星星¹, 王晓东^{2*}

1. 昆明理工大学信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650500;

2. 云南省矿物管道输送工程中心, 云南 昆明 650500

摘 要: 高压隔膜泵作为矿物管道输送过程中的核心动力设备, 如何评估高压隔膜泵的安全状况已成为一个亟待解决的课题. 提出了一种基于层次分析法 (AHP) 的基本原理评价高压隔膜泵安全状况的 AHP 模型, 确定了评价高压隔膜泵安全状况的指标体系, 采用成对比较判断矩阵的特征向量作为高压隔膜泵安全状况评价指标的权重值. 结果表明: 该评价指标体系能够反映高压隔膜泵安全评价中主要影响因素的权重值, 其中影响高压隔膜泵安全的最主要的参数是压力和冲程数, 同时, 该体系为管理人员监测高压隔膜泵的安全状况提供了理论依据.

关键词: 高压隔膜泵; 层次分析法; 评价指标体系; 冲程数

中图分类号: TH323

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2015.12.006

0 引 言

高压隔膜泵是管道运输中的核心设备, 所以高压隔膜泵安全状况就显得尤为重要. 因此, 加强监测高压隔膜泵的健康状况和提高高压隔膜泵安全生产能力已成为很多企业的首要目标之一. 目前, 相关文献都聚焦在高压隔膜泵单向阀和主轴的故障安全诊断上, 通过小波包、支持向量机和希尔伯特-黄变换等方法来找出故障特征频率, 从而诊断故障. 文献[1]采用 EMD 和 HHT 相结合的方法对主轴的振动信号进行分析, 通过比较正常振动信号和故障信号的频带能量谱图, 找出发生故障的频带, 进而诊断主轴的故障^[1]; 文献[2]采用小波包分解下的核主元分析法对采集到的单向阀运行信号进行分析, 通过信号时频域的分析结果判断单向阀故障^[2]; 文献[3]采用傅立叶变化等方法对单向阀声发射信号进行时频分析, 进而诊断单向阀故障^[3]. 这些方法只有在故障出现时才能诊断故障, 而不能提前预防故障安全的发生, 所以在高压隔膜泵安全管理中, 如何评估高压隔膜泵的健康状况是重要的内容之一. 依据层次分析法的原理, 评估高压隔膜泵的健康状况需要一个“健康状况评估指标体系”. 由于各种因素, 如技术、管理、环境等因素的影响, 高压隔膜泵的安全生产能力是复杂的, 对隔膜泵的安全性进行评价出现了许多的评价方法, 既有定性的方法, 也有定量的方法, 例如

单指标评估方法、综合评估指数、百分制法等, 这些方法既有优点又有缺点, 单指标评估方法简单方便, 容易计算, 但是根据一个指标进行评估的方法又太过于片面, 导致评估结果没有代表性; 综合评估指数简单易用, 但是将评估指标转化成同一标准上的难度较大, 而且类比参照值难以获取, 评估结果偏差大; 百分制法操作简单, 考虑因素比较全面, 然而评估基准值主观随意性较大, 没有考虑评估指标相互之间的影响, 从而导致评估结果不准确^[4]. 由于高压隔膜泵的健康状况存在很多未知因素的影响, 当前很多评估方法难以获得可靠而且准确的结果.

本研究提出应用层次分析法搭建高压隔膜泵安全状况的 AHP 模型, 确立影响高压隔膜泵安全生产能力的指标体系, 从而为高压隔膜泵安全评估和管理决策提供理论依据.

1 AHP(层次分析法)的基本原理与步骤

1.1 层次分析法简介

在 20 世纪 70 年代, 美国运筹学家提出了层次分析法的系统分析方法, 这种方法把定性描述和定量计算结合在一起, 把一个复杂的问题划分相互联系的有序层次, 然后对同一层次元素的相对重要性进行比较, 计算各元素的权重值, 最后根据各指标

收稿日期: 2015-11-11

作者简介: 姚星星 (1989-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生. 研究方向: 故障诊断. * 通信联系人

的权重值,对问题进行综合评价.

1.2 层次分析法步骤

运用层次分析法进行高压隔膜泵安全状况指标体系的建模,大致可以分为以下四步来进行^[1]:
1) 建立评估指标体系结构;2) 构造比较判断矩阵;3)计算权重值;4)一致性检验^[6].

2 层次分析法在高压隔膜泵安全状况评估中的应用

2.1 建立评估分析的层次结构

在与云南某管道公司运营部相关技术人员交谈并且进行了初步的分析后,按照层次分析法的一般步骤,建立高压隔膜泵核心组件健康状况评估指标体系:

建立评估分析的层次结构,目标层是高压隔膜泵健康性A.

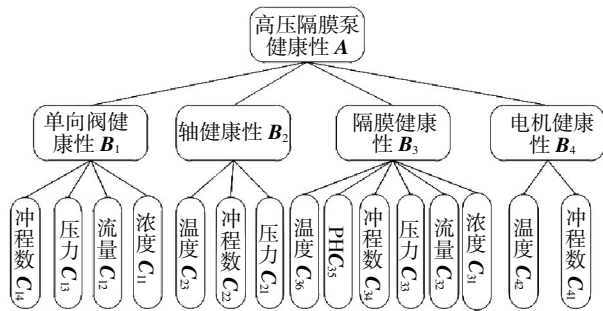
(1)一级指标层

高压隔膜泵的健康性主要由其核心组件的健康状况来评估的^[7],由文献[3]可知,高压隔膜泵主要由单向阀、轴、隔膜和电机组成,所以,笔者把“单向阀健康性B₁”、“轴的健康性B₂”、“隔膜健康性B₃”、“电机健康性B₄”作为一级指标.

(2)二层指标层

二级指标是能够反映一级指标健康状态一些重要参数,我们通过管道公司“数字管道系统”能清晰的看到影响每个核心组件的重要参数,然后选取其中重要的参数作为二级指标.

图1给出高压隔膜泵核心组件安全状况指标体系的设计.



2.2 相关判断矩阵的计算与一致性检验

上面已经构建好了三层指标体系结构,在构建好的层次结构中针对上一层的某指标,对本层次与该指标有关的所有指标依次构造两两比较的判断表,供专家打分使用.

针对各指标项,本文以问卷的形式^[8-9]收集了各位专家的打分意见.由于专家对所评估领域指标的熟悉程度和认识深度非常关键,因此重点选择了云南某管道公司运营中心在高压隔膜泵设备上既拥有较高理论水平又有丰富实践操作的专家来评分.20位专家评分的平均结果,依次如下表所示.

A层—B层(一级评估体系)

表 1 A 判断矩阵
Table 1 A judgment matrix

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
B ₁	1	1/2	1	1/5
B ₂	2	1	2	1/3
B ₃	1	1/2	1	1/5
B ₄	5	3	5	1

根据公式计算矩阵A₁

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}(i=1,2,3,\cdots)=(1/10,4/3,1/10,75)$$

$$\overline{W}_i=n\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}=(0.56,1.07,0.56,2.94)$$

$$\sum_{j=1}^n \overline{W}_j=0.56+1.07+0.56+2.94=5.13$$

$$W_i=\frac{\overline{W}_i}{\sum_{j=1}^n \overline{W}_j}=(0.11,0.21,0.11,0.57)$$

$$AW=AW_iT=(0.44,0.84,0.44,2.30)$$

$$\lambda_{\max}=(4+4+4+4.04)/4=4.01$$

$$C.I=(4.01-4)/3=0.003$$

$$C.R=0.003/0.89=0.004<0.1(\text{通过一致性检验})$$

B层—C层(二级评估指标体系)

表 2 B₁ 判断矩阵
Table 2 B₁ judgment matrix

B ₁	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄
C ₁₁	1	1/2	1/5	1/5
C ₁₂	2	1	1/2	1/2
C ₁₃	5	2	1	1
C ₁₄	5	2	1	1

根据公式计算矩阵B₁

$$\prod_{j=1}^n a_{ij}(i=1,2,3,\cdots)=(1/50,1/2,10,10)$$

$$\sum_{j=1}^n \overline{W}_j=0.38+0.84+1.78+1.78=4.78$$

$$W_i=\frac{\overline{W}_i}{\sum_{j=1}^n \overline{W}_j}=(0.08,0.18,0.37,0.37)$$

$AW=(0.32,0.71,1.50,1.50)$
 $\lambda_{\max}=(4+3.94+4.05+4.05)/4=4.01$
 $C.I=(4.01-4)/3=0.003$
 $C.R=C.I/0.89=0.003/0.89=0.004<0.1$ (通过一致性检验)
根据公式计算矩阵 B_2
$$W_i=\frac{\overline{W}_i}{\sum_{j=1}^n \overline{W}_j}=(0.45,0.45,0.10)$$

 $\lambda_{\max}=(3.111+3.111+2.80)/3=3.00$
 $C.I=(3.00-3)/2=0$
 $C.R=C.I/0.89=0<0.1$ (通过一致性检验)

同理,根据公式计算判断矩阵 B_3 、 B_4 ,并且通过一致性检验.

表 3 B_2 判断矩阵
Table 3 B_2 judgment matrix

B_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}
C_{21}	1	1	5
C_{22}	1	1	5
C_{23}	1/5	1/5	1

2.3 高压隔膜泵核心组件安全状况指标权重
经过上述的分析和计算过程后,最终得到了高压隔膜泵核心组件安全状况的指标权重,具体细节如表 4 所示.

表 4 指标权重表
Table 4 Weight table of evaluation index

目标层 A	因素层 B	权重	指标层 C	C 层相对于 B 层的权重	C 层相对于 A 层的权重
高压隔膜泵安全性	单向阀安全性	0.11	压力	0.37	0.040 7
			流量	0.18	0.019 8
			冲程数	0.37	0.040 7
			浓度	0.08	0.008 8
	轴安全性	0.21	压力	0.45	0.094 5
			冲程数	0.45	0.094 5
			温度	0.10	0.021 0
			冲程数	0.32	0.035 2
	隔膜安全性	0.11	压力	0.32	0.035 2
			流量	0.15	0.016 5
			温度	0.07	0.007 7
			PH	0.07	0.007 7
			浓度	0.07	0.007 7
	电机安全性	0.57	冲程数	0.67	0.381 9
			温度	0.33	0.188 1

3 结 语

根据高压隔膜泵安全状况指标体系实例,电机和轴的安全性是影响高压隔膜泵安全性最主要的两个因素;从二级指标可以看出来,影响单向阀、轴、隔膜和电机安全性最主要的参数集中在压力和冲程数上,所以监测这两个参数的值有利于高压隔膜泵的健康安全运行,从而为管道运营者和管理者提供了理论支持.

在考虑影响高压隔膜泵安全性的主要因素后,采用层次分析法对高压隔膜泵安全性进行定性描述和定量计算,确定各种指标的权重值,保证了评价指标的客观性和准确性. 由于层次分析法人

为主观性很强,所以判断矩阵的确定需要更多有经验的专家进行打分,才能保证判断矩阵的准确性.

致 谢

感谢云南大红山管道有限公司运营中心的支持!

参考文献:

[1] 印嘉. 基于小波包能量谱与 HHT 的隔膜泵主轴故障诊断研究[D].昆明:昆明理工大学,2013.
YIN Jia. The diaphragm pump spindle fault diagnosis research based on wavelet packet energy spectrum and HHT[D]. Kunming:Kunming university of science and technology,2013.(in Chinese)

- [2] 田宁. 单向阀声发射信号的故障诊断研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013.
TIAN Ning. The fault diagnosis research of check valve acoustic emission signals [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2013.(in Chinese)
- [3] 冯婷. 隔膜泵单向阀声发射信号的采集监测与分析研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2012.
FENG Ting. The quantitative monitoring and analysis of diaphragm pump check valve acoustic emission signals [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2012.(in Chinese)
- [4] 王丽丽. 模糊数学法结合层次分析法用于清洁生产潜力评估研究 [D]. 重庆: 重庆大学硕士学位论文, 2010.
WANG Lili. Fuzzy mathematics method combined with analytic hierarchy process is used for the research of cleaner production potential evaluation[D]. Chongqing: Master Degree Theses of Chongqing University, 2010.(in Chinese)
- [5] 徐源, 薛惠锋, 崔剑. 基于层次分析法的创新人才评价指标体系研究[J]. 价值工程, 2013, 32:244-247.
XU Yuan, XUE Hui-feng, CUI Jian. Research on the evaluation index system of innovative talents based on analytic hierarchy process [J]. Value Engineering, 2013, 32:244-247.(in Chinese)
- [6] 庞彦军, 刘开第. 层次分析法一致性检验不是排序的必要条件[J]. 河北建筑科技学院学报, 2002, 19(4): 76-78.
PANG Yan-jun, LIU Kai. Consistency test is not a necessary condition for the rank analysis [J]. Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology, 2002, 19(4): 76-78.(in Chinese)
- [7] 印嘉, 吴建德, 王晓东, 等. 基于小波包能量谱的往复隔膜泵故障诊断研究 [J]. 传感器与微系统, 2012, 31(10): 45-47.
YIN Jia, WU Jian-de, WANG Xiao-dong. Study on fault diagnosis of reciprocating diaphragm pump based on wavelet packet energy spectrum [J]. Sensor and Micro System, 2012, 31(10): 45-47.(in Chinese)
- [8] 秦涛, 商宇航, 刘振文. 基于层次分析法的煤矿安全评价指标体系研究[J]. 现代矿业, 2010(5): 70-72.
QIN Tao, SHANG Yu-hang, LIU Zhen-wen. Research on coal mine safety evaluation index system based on analytic hierarchy process[J]. Modern Mining, 2010, 05: 70-72.(in Chinese)
- [9] 颜扬, 杜纲. 企业柔性的指标体系及其 AHP-模糊综合评价方法研究[J]. 甘肃科学学报, 2004, 16(4): 120-123.
YAN Yang, DU Gang. Research on the index system of enterprise flexibility and AHP- fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Gansu Science Journal, 2004, 16(4): 120-123.(in Chinese)

Safety index system of high pressure diaphragm pump based on analytic hierarchy process

YAO Xing-xing¹, WANG Xiao-dong²

1.Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; 650500, China; 2.Engineering Research Center for Mineral Pipeline Transportation of Yunnan Province, Kunming 650500, China

Abstract: The highpressure diaphragm pump is the core power equipment in the process of mineral pipeline transportation. Now, an urgent task is how to assess its safety status. We put forward a kind of security situation model of high pressure diaphragm pump based on the basic principle of analytic hierarchy process (AHP), and determine an evaluation index system. Then we evaluated the safety of high pressure diaphragm pump by the feature vector of the matrix. Results show that the evaluation index system reflects the safety evaluation weights of the main influence factors of the high pressure diaphragm pump, and the pressure and stroke number are the most important parameters affecting the safety of the high pressure diaphragm pump. Meanwhile, the evaluation index system provided the theoretical basis for the management to monitor the safety of the high pressure diaphragm pump.

Key words: high pressure diaphragm pump; analytic hierarchy process; evaluation index system; stroke number

本文编辑: 张 瑞