

文章编号:1673-9469(2013)03-0071-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2013.03.018

基于层次分析法的机械设备维修决策分析

牛清娜

(河北工程大学 科信学院,河北 邯郸 056038)

摘要:提出运用层次分析法进行机械设备维修策略的决策,建立机械设备维修决策层次分析法结构模型。设备的维修策略主要有事后维修、定期维修和状态维修,根据运用层次分析法建立的结构模型,利用 Matlab 计算判断矩阵的权重并进行一致性检验,通过总权重确定机械设备的维修方式。实例证明,层次分析法能有效的解决机械设备维修策略的决策。

关键词:维修决策;层次分析法;Matlab

中图分类号:TH6

文献标识码:A

Decision - making analysis of maintenance for mechanical equipment based on Analytic Hierarchy Process

NIU Qing - na

(Kexin College, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: The decision - making of maintenance strategy for mechanical equipment is proposed by using Analytic Hierarchy Process, and then the structure model of Analytic Hierarchy Process is set up for mechanical equipment maintenance decision - making. The main maintenance strategy about mechanical equipment are Break - down Maintenance, Time Based Maintenance and Condition Based Maintenance. According to the structure model of Analytic Hierarchy Process, the weight of the judgment matrix and consistency check is calculated by using Matlab. Finally, the maintenance strategy of mechanical equipment was established on the basis of total weight. The results prove that the method of Analytic Hierarchy Process can effectively resolve the decision - making of maintenance strategy for mechanical equipment.

Key words: maintenance strategy; Analytic Hierarchy Process; Matlab

随着现代机械设备向机电一体化、自动控制方向的发展,为了使机械设备安全生产,对机械设备的维修方式也提出了不同的要求,不再是单一的机械设备坏掉之后的事后维修,可以针对不同情况采用定期维修、状态维修等,所以采用合理的维修方式以保证机械设备的安全运行,提高设备运用的可靠性、降低设备发生故障的概率、减少设备的维修成本,提高设备的使用效率具有重要的意义。目前主要采用的维修策略有事后维修、定期维修和状态维修,维修策略选择不当容易造成维修不足或维修过剩,增加了维修费用,但维修策略决策的研究多是从定性方面进行分析,很少从定量方面研究。本文提出将层次分析法应用于机

械设备维修策略的决策,通过层次分析法确定指标体系的权重,将定性和定量分析结合起来,最后通过实例证明,层次分析法在实现设备维修策略决策上是行之有效的。

1 维修策略

目前,在机械设备维修中主要采用事后维修、定期维修和状态维修这几种维修策略^[1]。

事后维修(Break - down Maintenance, BM),也称为故障后维修,是设备发生故障或性能下降至合格水平以下时采用的非计划性维修,或对事先无法预计的突发故障采取的维修方式。事后维修最大的优点是充分利用了零部件或系统部件的寿

收稿日期:2013-04-15

基金项目:河北省教育厅青年基金项目(2010247)

作者简介:牛清娜(1980-),女,河南漯河人,硕士,讲师,从事工程机械方面的教学研究。

命,但事后维修是非计划性维修,浪费了较多的剩余维修,同时还存在一定的缺陷和不足。事后维修方式适用于具有设备损坏后直接损失、间接损失都不大,维修期间影响生产小等特点的设备。

定期维修(Time Based Maintenance, TBM)也称为周期性预防维修,它具有对设备进行周期性维修的特点,是根据设备的磨损规律,预先确定修理类别、修理间隔期及修理工作量,所需的备件、材料可以预计,因此可作较长时间的安排,修理计划的确定是按设备的实际开动时数为依据,只要达到预定的维修时间就进行设备的维修,定期维修的缺点是容易造成“维修不足”或维修过剩。定期维修适合于已知设备磨损规律的设备,以及难以随时停机进行检修的流程工业、自动生产线设备。

状态维修(Condition Based Maintenance, CBM),是一种以设备状态为基础、以预测设备发展趋势为依据的检修方式,也称为视情维修。它根据对设备的日常检查、定期重点检查、在线状态检测和故障诊断所提供的信息,经过分析处理,判断设备的健康和性能劣化状况及其发展趋势,并在设备故障发生前,即性能降低到规定的故障率前有计划地安排检修。状态维修克服了定期维修的维修过剩和维修不足的弊端,调整了维修间隔期。

2 层次分析法的基本原理和步骤

层次分析法(Analytic Hierachy Process, AHP)是由美国学者 Satty 于二十世纪 70 年代提出的一种定性与定量分析相结合的、系统化的、层次化的分析方法。它把一个复杂问题表示为有序的递阶层次结构,通过两两比较的方式确定各要素的相对重要性的权重,然后综合人的判断确定决策者诸要素相对重要性权重的总排序^[2]。

层次分析法的基本步骤如下:

(1) 建立层析结构模型

在运用层次分析法进行分析时,关键是建立各个因素的层次结构模型,结构模型主要有三层,最上层为目标层,最下面为方案层,中间为准则层。

(2) 构造判断矩阵

设某层有 n 个元素, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 要比较他们对于上一层某一准侧(或目标)的影响程度,确定该层次中相对于某一准则所占的比重,通过两两因素之间的比较,比较时用 1~9 标度方法,如表 1 所示,用 a_{ij} 表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的比较结果,构成成对比较矩阵 A :

$$A = (a_{ij})_{n \times n}$$

其中, $a_{ij} > 0, a_{ij} = 1/a_{ji}, a_{ii} = 1$

表 1 1~9 比例标度表

Tab. 1 The proportional scale table of 1-9

相对重要程度 a_{ij}	定义	解释
1	同等重要	元素 i 比 j 同样重要
3	略微重要	元素 i 比 j 略微重要
5	较为重要	元素 i 比 j 较为重要
7	非常重要	元素 i 比 j 非常重要
9	绝对重要	元素 i 比 j 绝对重要
2, 4, 6, 8	介于两重要程度之间	
倒数	因素 i 与 j 比较的判断 a_{ij} , 则因素 j 与 i 比较的判断 $a_{ji} = 1/a_{ij}$	

(3) 层次单排序与一致性检验

对每个成对比较矩阵计算最大特征根及其对应的特征向量,利用移植性指标、随机一致性指标和一致性比率做一致性检验。若检验通过,特征向量(归一化后)即为权向量,若不通过,需要重新构造判断矩阵。

层次单排序是指对于上一层某因素而言,本层次各因素的重要性的排序,即确定下层各因素对上层某因素的权重。层次单排序用特征根法确定权向量,对于判断矩阵 A , 计算:

$$AW = \lambda W \quad \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

对于判断矩阵 A 的任一行(列)都对应于特征根 λ 的特征向量。若成对比较矩阵是一致阵,得到对应于最大特征根 λ 的归一化特征向量 $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 且 $\sum_{i=1}^n w_i$ 表示下层第 i 个因素对上层某因素影响程度的权值。

由于 λ 连续的依赖于 a_{ij} , 则 λ 比 n 大的越多, A 的不一致性越严重。用最大特征值对应的特征向量作为被比较因素对上层某因素影响程度的权向量,其不一致程度越大,引起的判断误差越大。因此引入一致性指标 CI (Consistency Index):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

式中 n 为判断矩阵的阶数。

为了检验判断矩阵满足一致性的程度,引入平均随机一致性指标 RI (Random Index), 如表 2 所示,将 CI 与 RI 进行比较来进行矩阵的一致性检验。

表 2 平均随机一致性指标 RI

Tab. 2 The random index RI

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

判断矩阵的一致性指标 CI 与同阶平均随机

一致性的指标 RI 的比值称为判断矩阵的随机一致性比率 CR (Consistency Ratio), 若 $CR = CI/RI < 0.10$ 时, 认为 A 的不一致程度在允许范围之内, 可用其归一化特征向量作为权向量, 否则需要对判断矩阵进行调整重新计算。

(4) 层次总排序与一致性检验

确定某层所有元素对于总目标相对重要性的排序权值, 并进行一致性检验, 并根据最后 (决策层) 的层次总排序做出最后决策。

3 实例分析

以某机械设备的维修决策选择为例, 通过专家分析, 建立如图 1 所示的维修决策层次分析结构模型^[3-8]。

根据维修决策层次结构模型, 运用 1~9 标度方法构造判断矩阵, 准则层 B 对于决策层 A 的判断矩阵以及运用 Matlab 计算软件计算出的权重和一致性判断结果如表 3 所示。

子准则层 $C_1 \sim C_3$ 对准则层 B_1 、子准则层 $C_4 \sim C_6$ 对准则层 B_2 、子准则层 $C_7 \sim C_9$ 对准则层 B_3 的判断矩阵、权重和一致性判断结果如表 4~6 所示:

方案层事后维修、定时维修和视情维修对子准则层的判断矩阵及其权重如表 7 所示:

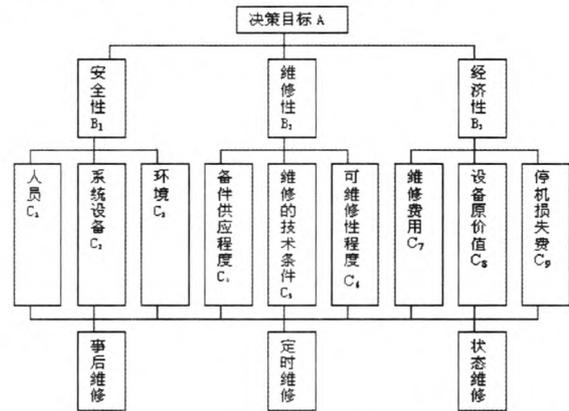


图1 维修方式决策层级结构图

Fig.1 The structure diagram of decision level for maintenance mode

表 3 准则层 B 对于目标层 A 的判断矩阵及其权重

Tab.3 The judgment matrix and weight of the criteria layer B for the target layer A

决策目标	安全性	维修性	经济性	权重 ω
安全性	1	3	2	0.527 8
维修性	1/3	1	1/3	0.139 6
经济性	1/2	3	1	0.332 5
一致性判断	$CI=0.026 8; CR=0.051 6 < 0.10$			

表 4 子准则层 $C_1 \sim C_3$ 对准则层 B_1 的判断矩阵及其权重

Tab.4 The judgment matrix and weight of the sub criteria layer $C_1 \sim C_3$ for the target layer B_1

安全性	人员	系统设备	环境	权重 ω	组合权重 ω
人员	1	3	5	0.648 3	0.371 4
系统设备	1/3	1	2	0.229 7	0.131 6
环境	1/5	1/2	1	0.122 0	0.064 4
一致性判断	$CI=0.001 8; CR=0.003 6 < 0.10$				

表 5 子准则层 $C_4 \sim C_6$ 对准则层 B_2 的判断矩阵及其权重

Tab.5 The judgment matrix and weight of the sub criteria layer $C_4 \sim C_6$ for the target layer B_2

维修性	备件的供应程度	维修的技术条件	可维修性程度	权重 ω	组合权重 ω
备件的供应程度	1	3	4	0.614 4	0.085 8
维修的技术条件 1/3	1	3	0.268 3	0.037 5	
可维修性程度	1/4	1/3	1	0.117 2	0.016 4
一致性判断	$CI=0.036 8; CR=0.070 7 < 0.10$				

表 6 子准则层 $C_7 \sim C_9$ 对准则层 B_3 的判断矩阵及其权重

Tab.6 The judgment matrix and weight of the sub criteria layer $C_7 \sim C_9$ for the target layer B_3

经济性	维修费用	设备原价值	停机损失费	权重 ω	组合权重 ω
维修费用	1	4	5	0.673 8	0.224 0
设备原价值	1/4	1	3	0.225 5	0.075 0
停机损失费	1/5	1/3	1	0.100 7	0.033 5
一致性判断	$CI=0.042 9; CR=0.082 5 < 0.10$				

表7 方案层相对于子准则层的判断矩阵及其权重

Tab.7 The judgment matrix and weight of the sub criteria layer for the scheme layer

人员	事后维修 CM	定时维修 TBM	状态维修 CBM	权重
事后维修 CM	1	1/3	1/4	0.122 0
定时维修 TBM	3	1	1/2	0.319 6
视情维修 CBM	4	2	1	0.558 4
系统设备	事后维修 CM	定时维修 TBM	状态维修 CBM	权重
事后维修 CM	1	1/3	1/5	0.104 7
定时维修 TBM	3	1	1/3	0.258 3
视情维修 CBM	5	3	1	0.637 0
环境	事后维修 CM	定时维修 TBM	状态维修 CBM	权重
事后维修 CM	1	1/3	1/4	0.122 0
定时维修 TBM	3	1	1/3	0.319 6
视情维修 CBM	4	2	1	0.558 4
备件供应程度	事后维修 CM	定时维修 TBM	状态维修 CBM	权重
事后维修 CM	1	1/4	1/5	0.097 4
定时维修 TBM	4	1	1/2	0.333 1
视情维修 CBM	5	2	1	0.569 3
维修的技术条件	事后维修 CM	定时维修 TBM	状态维修 CBM	权重
事后维修 CM	1	2	5	0.097 4
定时维修 TBM	1/2	1	3	0.333 1
视情维修 CBM	1/5	1/3	1	0.569 5
可维修程度	事后维修 CM	定时维修 TBM	状态维修 CBM	权重
事后维修 CM	1	1/5	1/7	0.071 9
定时维修 TBM	5	1	1/3	0.279 0
视情维修 CBM	7	3	1	0.649 1
维修费用	事后维修 CM	定时维修 TBM	状态维修 CBM	权重
事后维修 CM	1	1/5	1/7	0.071 9
定时维修 TBM	5	1	1/3	0.279 0
视情维修 CBM	7	3	1	0.649 1
设备原价值	事后维修 CM	定时维修 TBM	状态维修 CBM	权重
事后维修 CM	1	1/3	1/6	0.095 3
定时维修 TBM	3	1	1/3	0.249 9
视情维修 CBM	6	3	1	0.654 8
停机损失费用	事后维修 CM	定时维修 TBM	状态维修 CBM	权重
事后维修 CM	1	1/3	1/5	0.100 7
定时维修 TBM	3	1	1/4	0.225 5
视情维修 CBM	5	4	1	0.673 8

由以上判断矩阵以及权重的计算,根据公式

$$\omega_{\text{总}} = \omega_{\text{子准则}} \omega_{\text{方案}}^T$$

$$\text{即 } \omega_{\text{BM总}} = \omega_{\text{子准则}} \omega_{\text{BM}}^T = 0.121 2$$

同理求得 $\omega_{\text{CBM总}} = 0.306 8$ 、 $\omega_{\text{TBM总}} = 0.607 9$,
所以应采用状态维修。

4 结论

本文采用层次分析来进行机械设备维修策略的决策,建立机械设备维修策略决策模型,根据决策模型构造判断矩阵,运用 Matlab 计算软件得出判断矩阵的权重并进行一致性检验,最后通过比较总权重确定某机械设备的维修方式应采用状态维修。有效的解决了因维修策略选择不当造成的维修不足或维修过剩,降低了设备的维修费用,提高了机械设备的生产效率。

参考文献:

- [1] 杨景辉,康建设. 机械设备故障规律与维修策略研究[J]. 科学技术与工程,2007,7(16):4143-4145.

- [2] 许树伯. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.
- [3] 王凌. 维修决策模型和方法的理论与应用研究[D]. 杭州:浙江大学,2007.
- [4] 刘自山,肖晴,岳智慧,等. 城市表层土壤重金属污染模型建立与评价[J]. 四川理工学院学报:自然科学版,2012,25(4):33-36.
- [5] 方向清,傅耀军. 采煤对峰峰矿区黑龙洞泉岩溶水系统影响程度评价[J]. 中国煤炭地质,2012,24(3):25-30.
- [6] 彭安华,王智明. 基于模糊层次分析法的维修方式群体决策模型[J]. 机械强度,2012,34(3):403-409.
- [7] 张卓,高鹰,张杰,等. 一种基于改进型模糊层次分析法的装备维修策略[J]. 兵工自动化,2010,29(1):50-53.
- [8] 刘钰辉,李建武,张培河. 芦岭煤矿地面煤层气开发选区评价研究[J]. 中国煤炭地质,2012,24(5):46-50.

(责任编辑 马立)