

文章编号:1671-251X(2015)01-0006-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.01.002

李晋,朱强强,范旭峰,等.大型机电设备健康状态评估方法研究[J].工矿自动化,2015,41(1):6-9.

大型机电设备健康状态评估方法研究

李晋, 朱强强, 范旭峰, 孟阳, 陈思安

(天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213125)

摘要:根据大型机电设备健康状态评估的复杂性和影响因素的非线性、模糊性及灰度性特点,从设备的产品质量、运行工况、历史数据3个主要方面构建设备健康状态评判指标体系,并设计了基于模糊-灰度-变权求和的分层设备健康状态综合评估模型。选用矿用带式输送机对综合评估模型进行验证,结果表明,运用该模型得出的评估结果与设备实际运行情况相吻合,该模型对于大型机电设备的健康状态评估及安全生产具有一定的实际意义。

关键词:机电设备;健康状态评估;评判指标;评估模型;模糊灰色评判法

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2015-01-05 16:22

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150105.1622.002.html>

Research of health status evaluation method for large electromechanical equipment

LI Jin, ZHU Qiangqiang, FAN Xufeng, MENG Yang, CHEN Si'an

(Tiandi (Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213125, China)

Abstract: According to characteristics of complexity of health status evaluation of large electromechanical equipment, and nonlinear, fuzzy and grayscale of the impact factors, the paper constructed evaluation index system of health status of equipment from three aspects of product quality, operational states and historical data, and designed stratified comprehensive evaluation model of health status of equipment based on fuzzy-gray-variable weight summation. Mine-used belt conveyor was selected to verify the comprehensive evaluation model, and the results showed that the actual operation status of equipment was consistent with the results of assessment derived using the model. The comprehensive evaluation model has an important actual significance for health status evaluation for large electromechanical equipment and safety production.

Key words: electromechanical equipment; health status evaluation; evaluation indicator; evaluation model; fuzzy gray evaluation method

0 引言

随着工业生产的发展,生产设备的可靠性设计水平也得到了提升。在这种新形势下,继续沿用以往的定期维修模式,可能导致资源浪费和设备可用率的降低^[1]。目前,已广泛应用的设备维修体制主要有计划维修、事后维修、预知维修。事后维修和计划维修都已经不能适应现代化生产的要求,而预防

维修主要依赖于早期落后的计算机系统和软件来记录故障和评估设备,由于缺乏可采集完整、连续数据的数据采集系统,预测结果常常不准确。随着监测手段的进步和计算机硬件的发展,形成了更为完善的维修体制,即状态维修^[2-3]。实施状态维修的必要前提是对设备的运行状态进行有效的评估。因此,准确可靠的设备健康状态评估是实施这种维修体制的关键。

收稿日期:2014-04-08;修回日期:2014-11-21;责任编辑:胡娴。

基金项目:天地科技技术创新基金资助项目(KJ-2013-TDCZ-02)。

作者简介:李晋(1985—),男,山西大同人,助理研究员,主要从事设备管理与状态监测等方面的工作,E-mail:lijincau@aliyun.com。

1 设备健康状态评估指标

影响大型机电设备健康状态的信息类型很多, 这些信息从不同程度、不同侧面和不同层次反映了设备运行情况的好坏。在设备的状态评估体系中, 所选的指标并不是越多越好, 关键是要考虑评价指标的代表性。在具体选取每个指标时, 应尽可能地选取一些最能反映设备状态优劣的典型指标, 删除相对次要的指标, 并保证每个指标的可测性、完备性、独立性、客观性、灵敏性及一致性^[4-7]。本文深入探讨了设备的产品质量、运行工况、历史状态这三类因素, 建立了设备健康状态评估指标体系, 如图 1 所示。

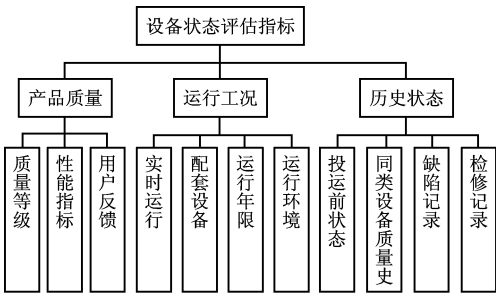


图 1 设备健康状态评估指标体系

2 设备健康状态评估模型

模糊评判法是通过构造等级模糊子集把反映被评事物的模糊指标进行量化(即确定隶属度), 然后利用模糊变换原理对各指标进行综合, 因此能够用于考虑评判问题中的模糊因素, 而灰色评判法适用于信息不完全或不充分的问题。模糊灰色评判法可以理解为将模糊理论、灰色理论与多因素决策相结合的一种决策方法, 依据评价因素的特点, 考虑评判信息的充分性, 进而构造出模糊灰色矩阵, 最后采用模糊灰色算法得出设备的状态评估结果^[8-9]。

本文探讨的分层模糊灰色综合评判方法是依据评价指标体系, 将所涉及到的因素按照产品质量、运行工况和历史状态划分为三类。从低层次到高层次, 逐层评判设备健康状态的隶属度及信息的可信度。计算步骤如下:

(1) 确定评语集: $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, 其中, v_m 表示指标集中子因素的灰度值, m 为评语集中包含的评语数。评语集是用于表征评估模型评判结果的集合, 机电设备健康状态数的划分常用 1—9 级标

度法。参照相关评判标准及实际情况, 将矿用机电设备的健康状态划分为 5 个等级, 见表 1。

表 1 设备健康状态等级

健康等级	状态描述
健康	运行状态好, 各项指标合格
正常	运行状态较好, 各项指标合格
故障早期	运行状态不良, 指标基本合格
故障中期	运行状况异常, 指标不合格
故障晚期	无法正常运行, 指标不合格

(2) 设 r_{ij} 表示模糊关系, 即指标集的子因素 i 对评语值 j 的隶属度 ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, p$, p 表示子因素的个数), 则根据图 1 描述的设备健康状态评估指标体系, 分别建立基于产品质量、运行工况和历史状态的单层次模糊评判矩阵:

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mp} \end{bmatrix}$$

(1)

(3) 在确定模糊评判部分时, 由于受实际情况的限制, 收集到的信息量不足, 使得模糊评判结果具有一定的不可信度。基于此, 对矩阵 R_i 中的每个元素引入灰色度, 并依据信息的充分情况分成 5 个等级, 见表 2。

表 2 设备健康状态因素灰色度

信息等级	状态因素灰色度
充分	0~0.2
较充分	0.2~0.4
一般	0.4~0.6
较匮乏	0.6~0.8
很匮乏	0.8~1.0

建立单层次模糊灰度综合评判矩阵:

$$R_i = \begin{bmatrix} (r_{11}, v_{11}) & (r_{12}, v_{12}) & \cdots & (r_{1p}, v_{1p}) \\ (r_{21}, v_{21}) & (r_{22}, v_{22}) & \cdots & (r_{2p}, v_{2p}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ (r_{m1}, v_{m1}) & (r_{m2}, v_{m2}) & \cdots & (r_{mp}, v_{mp}) \end{bmatrix}$$

(2)

式中: v_{ij} 为 r_{ij} 的点灰度。

(4) 计算模糊评判部分各因素权重及灰度评判部分各指标点灰度值 w_i :

$$w_i = [(a_{i1}, v_1), (a_{i2}, v_2), \dots, (a_{im}, v_m)]$$

(3)

式中: a_{ij} 为指标集中子因素的模糊因素权重值。

(5) 用式(4)计算单层次模糊灰度综合评判结果向量 C_i :

$$C_i = w_i R_i = \left[\left(\sum_{j=1}^n a_{ij} r_{ij}, \prod_{j=1}^n (1 \wedge (v_{ij} + v_j)) \right) \right] \tag{4}$$

式中: n 为指标集中包含的子因素个数。

(5) 将 C_i 作为下一级判断的输入进行综合评判,得到向量 C :

$$C = [(b_1, v_1), (b_2, v_2), \cdots, (b_n, v_n)] \tag{5}$$

式中: $v_i = 1/m \sum_{j=1}^m v_{ij}$; b 为上一层隶属度的值。

(6) 对 C 中的元素 b_i 进行归一化得到 $\bar{b}_i, 1-v_i$ 表示设备健康状态属于评语值 i 的可信度,经过处理得到新的向量 $\bar{C}=[(\bar{b}_1, 1-v_1), (\bar{b}_2, 1-v_2), \cdots, (\bar{b}_n, 1-v_n)]$ 。对向量 $\bar{C}$ 中的每个元素采用式(6)计算,得到向量 P, P 中数值最大的元素 $p_{\max}$ 即为设备健康状态的最终评判结果。

$$P = (p_1, p_2, \cdots, p_n) = \{[\mu \bar{b}_1 + (1-\mu) \times (1-v_1)], [\mu \bar{b}_2 + (1-\mu)(1-v_2)], \cdots, [\mu \bar{b}_n + (1-\mu)(1-v_n)]\} \tag{6}$$

式中: $\mu = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$ 。

3 评估模型验证

3.1 各评判因素的权重及灰度计算

采用专家打分法对产品质量指标集、运行工况指标集、历史统计数据指标集及二级综合状态评估评判因素的各因素依据重要程度进行打分,并计算出权重系数,灰度值由评判者依据实际情况给出,计算结果见表 3—表 6。由表 1—表 6 可得一级子指标集的各个权值 A_1, A_2 和 A_3 :

$$R_1 = \begin{bmatrix} (0.666\ 7, 0.30) & (0.333\ 3, 0.20) & (0.000\ 0, 0.10) & (0.000\ 0, 1.00) & (0.000\ 0, 1.00) \\ (0.800\ 0, 0.20) & (0.200\ 0, 0.20) & (0.000\ 0, 0.30) & (0.000\ 0, 0.30) & (0.000\ 0, 0.20) \\ (0.666\ 7, 0.10) & (0.200\ 0, 0.40) & (0.133\ 3, 0.20) & (0.000\ 0, 0.20) & (0.000\ 0, 0.60) \end{bmatrix}$$

表 3 产品质量指标集各子因素权重及灰度值

指标	模糊因素权重	灰度值
质量等级	0.25	0.7
性能指标	0.35	0.1
用户反馈	0.4	0.2

表 4 运行工况指标集各子因素权值计算结果及灰度值

指标	模糊因素权重	灰度值
实时运行	0.38	0.1
配套设备	0.13	0
运行年限	0.24	0
运行环境	0.25	0.2

表 5 历史状态指标集各子因素权值计算结果及灰度值

指标	模糊因素权重	灰度值
投运前状态	0.32	0.3
同类设备质量史	0.2	0.6
缺陷记录	0.27	0
检修记录	0.21	0

表 6 综合状态评估指标集权重

指标	模糊因素权重	灰度值
产品质量	0.3	0.33
运行工况	0.4	0.075
历史状态	0.3	0.225

$$A_1 = [(0.25, 0.7) (0.35, 0.1) (0.4, 0.2)]$$
$$A_2 = [(0.38, 0.1) (0.13, 0) (0.24, 0) (0.25, 0.2)]$$
$$A_3 = [(0.32, 0.3) (0.2, 0.6) (0.27, 0) (0.21, 0)]$$

3.2 设备健康状态评估

选用某型带式输送机进行状态评估,针对不同指标集的各因素采用上述隶属度函数进行计算,得到基于产品质量指标集的单因素判断矩阵 R_1 、基于运行工况指标集的单因素判断矩阵 R_2 、基于历史状态统计指标集的单因素判断矩阵 R_3 :

$$\mathbf{R}_2 = \begin{bmatrix} (0.533\ 3, 0.00) & (0.266\ 7, 0.00) & (0.200\ 0, 0.10) & (0.000\ 0, 0.10) & (0.000\ 0, 0.10) \\ (0.200\ 0, 0.10) & (0.333\ 3, 0.10) & (0.333\ 3, 0.20) & (0.133\ 4, 0.10) & (0.000\ 0, 0.30) \\ (0.000\ 0, 0.10) & (0.533\ 3, 0.30) & (0.466\ 7, 0.30) & (0.000\ 0, 0.30) & (0.000\ 0, 0.20) \\ (0.000\ 0, 0.20) & (0.333\ 3, 0.30) & (0.333\ 3, 0.30) & (0.133\ 4, 0.40) & (0.200\ 0, 0.20) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_3 = \begin{bmatrix} (0.933\ 3, 0.20) & (0.066\ 7, 0.60) & (0.000\ 0, 0.90) & (0.000\ 0, 0.90) & (0.000\ 0, 0.80) \\ (0.866\ 7, 0.40) & (0.133\ 3, 0.30) & (0.000\ 0, 0.40) & (0.000\ 0, 1.00) & (0.000\ 0, 1.00) \\ (0.133\ 3, 0.30) & (0.466\ 7, 0.50) & (0.266\ 7, 0.60) & (0.066\ 7, 0.40) & (0.066\ 6, 0.30) \\ (0.200\ 0, 0.20) & (0.333\ 3, 0.40) & (0.333\ 3, 0.40) & (0.066\ 7, 0.60) & (0.066\ 7, 0.20) \end{bmatrix}$$

计算一级评估结果：

$$\mathbf{C}_1 = \mathbf{A}_1 \mathbf{R}_1 = [(0.713\ 4, 0.090) \quad (0.233\ 3, 0.162) \quad (0.053\ 3, 0.128) \quad (0.000\ 0, 0.128) \quad (0.000\ 0, 0.192)]$$

$$\mathbf{C}_2 = \mathbf{A}_2 \mathbf{R}_2 = [(0.225\ 7, 0.000\ 4) \quad (0.356\ 0, 0.001\ 5) \quad (0.314\ 7, 0.006) \quad (0.050\ 7, 0.003\ 6) \quad (0.050\ 0, 0.004\ 8)]$$

$$\mathbf{C}_3 = \mathbf{A}_3 \mathbf{R}_3 = [(0.550\ 0, 0.03) \quad (0.310\ 7, 0.162) \quad (0.142\ 0, 0.288) \quad (0.032\ 0, 0.460\ 8) \quad (0.032\ 0, 0.105\ 6)]$$

经上述计算结果综合得到设备健康状态评估判断矩阵 $\mathbf{R}$ 和初步的评判结果 $\mathbf{C}$ ：

$$\mathbf{R} = [\mathbf{C}_1, \mathbf{C}_2, \mathbf{C}_3]^T$$

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} \mathbf{R} = [(0.469\ 3, 0.08) \quad (0.305\ 6, 0.015) \quad (0.184\ 5, 0.019) \quad (0.029\ 9, 0.025) \quad (0.029\ 6, 0.014)]$$

对评判结果采用变权求和的方法进行计算,得到该带式输送机最终的状态评判结果 $\mathbf{P}$ ：

$$\mathbf{P} = [0.537\ 4, 0.385\ 1, 0.244\ 3, 0.064\ 2, 0.064\ 6]$$

从以上评判结果可知,带式输送机的运行状态处于健康阶段,且用于评估的数据信息很充分,状态评估有效。经鉴定,该设备实际运行情况可靠、稳定,与设备健康状态评估模型评估结果相吻合。

4 结语

(1) 深入探讨了大型机电设备的状态评估框架并给出评判指标集,将模糊灰度数学理论应用于机电设备健康状态评估,建立分层状态评估模型。

(2) 利用变权求和的方法处理评判结果,该方法对于信息完整度不同的设备健康状态评估,能更好地权衡隶属度和可信度,使评估结果更贴近设备实际情况。

(3) 实现系统原型,对带式输送机的状态进行评估。经检验,评估结果符合设备的实际情况,表明该状态评估方法具有一定的实际意义。

参考文献：

[1] 西安热工研究院. 发电设备状态简册和寿命管理

[M]. 北京:中国电力出版社,2013.

[2] 李正祥,王政. 煤矿机电设备管理[M]. 重庆:重庆大学出版社,2010.

[3] 卜广志,张宇文. 基于灰色模糊关系的灰色模糊综合评判[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(4): 141-144.

[4] 刘混举,杨兆建. 煤矿综采设备寿命评价的理论体系[J]. 机械工程与自动化,2009,8(4):5-7.

[5] 李葆文. 设备管理新思维新模式[M]. 北京:机械工业出版社,2010.

[6] 胡永宏,贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京:科学出版社,2000.

[7] 陈亚菲,高翔,骆仲泱,等. 烟气脱硫技术的模糊综合评判法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 172-176.

[8] 朱鹏飞,尚玉莲,张雪婷. 基于广义三角模的灰色模糊综合评判[J]. 山东理工大学学报:自然科学版,2004, 18(2): 72-75.

[9] 马佶,吕军. 基于灰色模糊综合评判的信息系统风险评估[J]. 价值工程,2009,28(1):108-111.

[10] 张媛,熊小伏,周家启,等. 基于灰色模糊综合评判的断路器维修排序方法[J]. 电网技术,2008,32(8): 21-24.