

卷烟生产设备疲劳状态可视化智能维护技术研究

周稀乔,肖迎宾

(江苏中烟工业有限责任公司,江苏 南京 210009)

摘要:为研究卷烟生产设备疲劳状态可视化智能维护技术,通过获取的卷烟生产设备信息,计算设备疲劳程度及故障率,并根据故障率设定可视化智能维护技术指标,以此明确卷烟生产设备的疲劳状态。根据生产设备的归一值进行可视化处理,结合卷烟生产设备维护模式,实现对生产设备疲劳状态的可视化智能维护。实验结果表明:此次设计的智能维护方案,使维护后设备的故障率更低,更适用于卷烟生产设备的维护。

关键词:生产设备;维护技术;可视化;疲劳状态

中图分类号:TP391 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)04-0233-04

Research on Visual Intelligent Maintenance Technology for Fatigue State of Cigarette Production Equipment

ZHOU Xiqiao, XIAO Yingbin

(China Tobacco Jiangsu Industrial Co., Ltd., Nanjing 210009, China)

Abstract: In regard to the restricted production efficiency of cigarette production equipment due to high secondary failure after equipment maintenance, the visual intelligent maintenance technology of fatigue state of cigarette production equipment is studied. Based on the acquired information of cigarette production equipment, the fatigue degree and failure rate of the equipment are calculated, and the technical indicators of visual intelligent maintenance are set according to the failure rate, thus the fatigue state of cigarette production equipment is clarified. The visual processing is carried out according to the normalized value of the production equipment. Combined with the maintenance mode of cigarette production equipment, the visual intelligent maintenance of the fatigue state of production equipment is realized. Experimental results show that the designed intelligent maintenance technology encounters lower failure rate after maintenance, and is more suitable for the maintenance of cigarette production equipment.

Keywords: production equipment; maintenance technology; visualization; fatigue state

0 引言

目前烟草行业已经初步实现了生产设备与物流配送环节的智能技术应用^[1]。早在20世纪初,一些制造业生产设备的零件误差较大,导致设备维护难度变大并且维修频率较高。国外开始研究设备维护的相关技术^[2-3],直至20世纪70年代左右,美国率先将传感器和状态监测等技术应用到设备维护中,逐渐实现对生产设备的离线与在线监测以及零件维护与更换。在后续发展过程中,日本等其他国家也相继在相关领域展开研究。我国的相关研究比国外起步稍晚一些,但经过科研机构以及高等院校科研工作者的共同努力,我国在制造业生产设备维护技术层面已经取得技术突破,如文献[4]设计的基于机器视觉的烟支接装质量在线检测系统和文献[5]中对GD-H1000卷烟包装机烟支推进机构做出的改进。但是在生产设备的疲劳状态与可视化方面的研究成果还不够全面,有待深入探讨。

研究智能维护技术就是通过技术手段降低维修费用,并且在一定程度上延长卷烟生产设备的使用周期。对此,进行卷烟生产设备疲劳状态可视化智能维护技术研究,其

创新之处在于通过可视化手段,根据故障率设定可视化智能维护技术指标,分阶段(早期、磨合期等)、有针对性地明确卷烟生产设备的疲劳状态。

1 设计卷烟生产设备疲劳状态可视化智能维护技术

1.1 获取卷烟生产设备信息

卷烟生产设备是完成卷烟生产任务的关键载体,一旦出现生产设备故障的情况,将会对后续加工以及出厂环节造成严重影响。因此,卷烟生产设备的维护必须建立在烟草工艺、生产批量、生产周期等生产任务上,在复杂的信息处理过程中提供科学的维护依据。生产设备的维护信息与设备维护计划的主要运作模式如图1所示。

卷烟生产设备的维护所需要的信息主要集中在运行状态、疲劳状态和历史维护信息等方面。卷烟生产设备的运行状态监测主要指的是通过相应的监测设备对生产设备进行持续监测,将采集到的数据进行处理和分析,判断

生产设备的运行状态和疲劳状态,以便进一步对设备的故障发生概率进行预测并根据预测结果进行有效维护。维护资源是生产设备维护的重要工具,是维护技术的有力保障,主要包括专业维护工具、技术人员、智能维护设备等^[6-8]。卷烟生产设备维护信息的收集与数据处理共同构成了智能维护技术设计的数据信息基础。通常情况下,卷烟生产设备的维护数据是参数估计、认识模型以及智能信息的集成,可在此基础上,根据卷烟生产设备的具体生产状况进行数据处理。

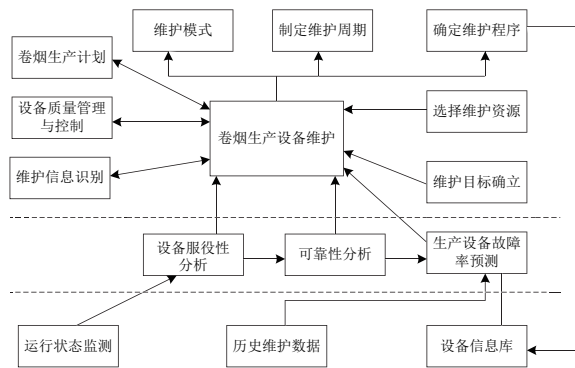


图1 卷烟生产设备维护模式

除此之外,通过卷烟生产商提供的故障时间和修复时间等历史维护数据,建立相应的生产设备维护信息库,包括卷烟生产设备的基本属性信息和设备参数信息,为卷烟生产设备的效能分析提供数据支持,有助于后续展开生产设备疲劳状态可视化智能技术研究^[9-10]。

1.2 计算设备疲劳程度及故障率

卷烟生产设备维护与卷烟生产企业的生产调度之间存在着不同程度的内在关联。通常情况下,卷烟制造企业都是采取在固定时间进行定期检修的方式。这种设备维护方式是依靠传统的设备维护技术,维护效果主要取决于相关技术人员的经验与水平,并且由于维护周期都是相同的,导致这种预防性维修无法全面满足设备的运行需求。故障主要指的是设备或者零部件无法实现其功能的一种现象,可把设备可能出现的故障定义为一个随机事件,利用相关的统计分析方法去分析故障发生的原因和规律,为卷烟设备的疲劳状态判断提供科学依据。通过生产设备的故障浴盆曲线获取更加清晰的信息,如图2所示。

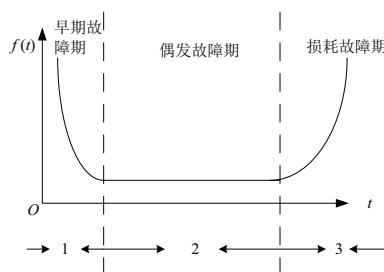


图2 生产设备故障浴盆曲线

由图2可以看出,在早期故障期的初始故障率较高,经过一段时间的磨合后故障发生率逐渐下降,这个时期内

的故障与生产设备的出厂性能和制造质量有着直接关系,渡过磨合期后,故障率逐渐趋于稳定。偶发故障期的运行状态基本趋于稳定,在该阶段是卷烟生产设备的最佳工作时期,故障出现的原因主要是操作不当和维修不力,只要加强相应的运行状态监测与维护保养工作,就能在一定程度上降低故障发生的概率。在损耗故障期出现的问题,主要是生产设备零部件的磨损和疲劳造成的,在第2阶段和第3阶段的拐点处开始全面检修,能有效降低故障发生率。通过对卷烟设备的3个时期的故障率和疲劳程度分别进行计算,早期设备故障率密度函数为

$$f_1(t) = \frac{\alpha_1}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\alpha_1 - 1} \quad (1)$$

$$S_1(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\alpha_1} \right]$$

式中: $f(t)$ 表示故障率函数; $S(t)$ 表示设备疲劳程度函数; α_1 表示可用指数分布参数; η 为分布特征参数; t 为运行时间; \exp 表示生产设备的稳定运行期望函数。 α_1 和 η 的取值范围在1~10之间,当 $\alpha_1 > 1$ 时,符合函数分布特征。偶发故障期的故障率 $f_2(t)$ 与设备疲劳程度函数 $S_2(t)$ 分别为

$$f_2(t) = \alpha_2 \exp(-\alpha_2 t) \quad (2)$$

$$S_2(t) = \exp(-\alpha_2 t)$$

式中 α_2 表示该阶段生产设备的故障系数。由于在此阶段的生产设备故障率更趋近于常数,因此卷烟生产设备的疲劳程度成为生产设备效能的重要衡量指标。设定随机变量 X 表示生产设备开始运行到故障发生的工作时间,则

$$S(t) = \frac{\exp[X - \alpha n(t + \Delta t)]}{\exp(-\alpha n t)} \quad (3)$$

式中: t 为运行时间;设备后续运行时间间隔 Δt 的疲劳程度用 $S(t + \Delta t)$ 表示。根据最终式可以得出设备的疲劳程度与运行时间 t 之间没有一定关系,只与间隔 Δt 和偶发故障率 α_{n+1} 有关系。在损耗故障期阶段,生产设备的故障率随着运行时间变长而变大。损耗故障期主要是由偶然故障率和设备疲劳程度组成,偶然故障率 $f_3(t)$ 和设备疲劳程度函数 $S_3(t)$,分别表示为

$$f_3(t) = \alpha_2(t) + \alpha_{n+1}(t) \quad (4)$$

$$S_3(t) = \exp \left[- \int_0^{t+\Delta t} \alpha_{n+1}(t) dt \right]$$

其中,当 $n=2$ 时,根据生产设备的故障浴盆曲线,得出相应的设备故障率和疲劳程度的相关数据,以此确定卷烟生产设备的预防性维护周期。

1.3 基于故障率设定可视化智能维护技术指标

区别于传统的设备维护技术,基于可视化的智能维护技术优化算法,以多种类型的图表作为表现形式,反映出生产设备智能维护的可视化特征。生产设备自身的故障率、疲劳状态与健康状态等因素,都会直接影响到后续的维护检修工作。受科技进步的影响,设备维护工作也不再完全依赖人工,智能科技逐渐被应用到设备维护的工作中。处于不同疲劳等级的生产设备,对维护技术的需求也不同,根据测试结果将设备的疲劳分为5个等级。首先是

较为健康的卷烟生产设备,在各项检测中,所有的关键参数的测试结果都在正常范围内,并且与出厂设置的原始数据比较接近,只需监测而不用维护,这种结果是属于疲劳状态较轻的一级疲劳级别;其次是在各项检测中,卷烟生产设备的关键参数基本都在正常范围内,并且测试结果与标准值的偏离程度较小,没有超过健康范围,只需要按照正常的维修计划进行监测和维护,此级别属于二级疲劳;再次是关键参数的检测数据大多数都在正常范围内,一些参数与标准值的偏离程度相对较大,但是没有超过正常范围,需要适当地维护并且加强对生产设备的状态监测,此级别属于三级疲劳;然后是生产装备的参数检测结果中,有一部分距离标准值的偏离程度较大,并且已经接近阈值的临界点,需要停止使用尽早维护,这个级别是四级疲劳;最后是有一项或者多项测试参数超过阈值,已经面临报废,说明该设备的疲劳状态已经达到顶峰的五级疲劳,需要立刻停止使用并全面检修。

在对卷烟生产设备的检测结果进行分析对比的过程中,其定性指标是重要的参照对象,而定性指标需要根据历史数据曲线来进行相关信息提取。为了使卷烟生产设备关键参数之间的疲劳状态具有较强的可操作性,需要将参数进行归一化处理,用具体数值来表示卷烟生产设备的运行状态,其可视化智能程度与归一化数值之间是正比关系,其归一化数值越大,说明生产设备的疲劳状态越高,反之,归一化数值越小,设备维护技术的智能程度就越低。为了提高卷烟生产设备维护技术的可视化智能程度,需要对其归一值进行计算,公式为

$$\sigma_i = \begin{cases} \frac{\lambda_1 - \Delta}{\lambda_1}, & n_s \leq n_i \leq n_u \\ \frac{\lambda_2 - \Delta}{\lambda_2}, & n_l \leq n_i \leq n_s \end{cases} \quad (5)$$

式中: σ_i 为归一值; n 为关键参数; i 是其中一个参数;其测试值为 n_i ,标准值为 n_s ,上限值为 n_u ,下限值为 n_l ,则参数 i 的测试值与标准值的偏差为

$$\Delta = |n_i - n_s| \quad (6)$$

参数 i 的最大允许误差与最小允许误差分别为

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= |n_u - n_s| \\ \lambda_2 &= |n_l - n_s| \end{aligned} \quad (7)$$

根据公式(5)可知,当卷烟生产设备参数 i 的值为标准值时,其归一值为: $0 < \sigma_i < 1$,表明设备的疲劳程度较低,运行状态良好;当偏离参数的标准值变大时,归一值变小,生产设备参数 i 的疲劳程度处于中等水平;当装备参数 i 的测试值达到最大或最小限值时,其归一值为0,表明生产设备的疲劳程度较高,运行状态较差。明确卷烟生产设备的疲劳状态后,根据生产设备的归一值进行可视化处理,连接计算机智能终端,提升维护技术。

2 实验与分析

2.1 定义卷烟生产设备参数

实验选取两种传统设备维护技术(文献[4]方法和文献[5]方法),与文中运用智能维护技术进行设备修复成

果的实验对比,得出实验结果。首先,以某烟包装联合机组设备为实验对象,定义烟包装联合机组设备参数,结合图1和图2,对该机组设备的布置做出调整。

1)设计制造一种箱体(铸铝),取代原有的下降装置箱体,扩大其作用。

2)设计制造了降烟器的左前门组件,并更换了原降烟器的左前门组件,以适应改造后的卷烟进料方式。

3)对箱体前门安装的“左面板”部件进行重新设计制造,以方便新部件的安装。

4)重新设计和制造新的出口“从动轮总成”的下降装置以及相应的过渡板、盖板、前门、防尘盒等部件。

本实验所用的烟卷包装单元设备采用“C”型布置,单元占地约180m²,长度20m,宽度9m。原设备的功能需要扩展:全部采用原设备上的提升机、高位输送机、下降装置、贮存桶,而y17型卷烟储运系统中的降烟器需要进行改造,增加低位加料和下料装置。

设备说明、综合类型和分支类型等设备参数如图3所示。

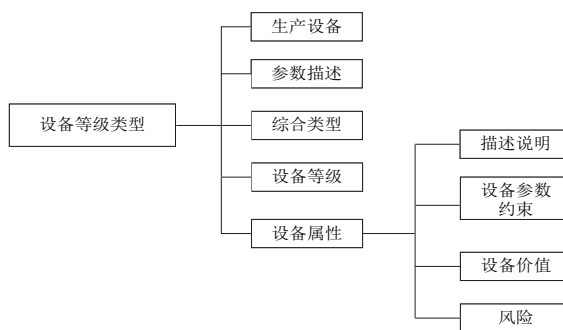


图3 生产设备参数定义结构图

根据图3设备参数信息,卷烟生产设备的定义信息如表1所示。

表1 设备参数定义信息

序号	设备特定属性	
	字段名称	值类型
1	生产设备参数标识	特定条件 M1
2	生产设备参数名称	SH-N4
3	描述类型	特定条件 F3
4	参数标签	特定条件 D2
5	计量单位	JHK-NH2
6	量纲标签	特定条件 K2
7	计量单位标识	特定条件 N1
8	有效期	运行时间 D4
9	值类型	KFG-11
10	设备参数约束值	KJL-W
11	设备参数值	FGC-6
12	疲劳警告信息	疲劳状态属性

结合卷烟生产设备的特定属性,为得出维护技术实验结果进行数据相关性分析。对卷烟生产设备的数据相关性进行有效分析,其有效性隶属函数与式(5)中的归一值 σ_i 有关,呈4种形态分布,具体如图4所示。

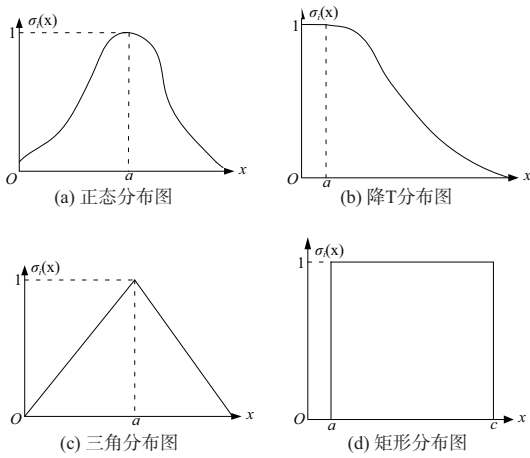


图4 设备参数有效性隶属函数分布

经分析得到卷烟生产设备的参数取值范围已经不局限于 $[0,1]$ 之间的结论。在该区间内实现连续取值和任意取值,根据不同的取值,得出实验结果。

2.2 验证维护技术修复成果

通常情况下,卷烟生产设备的使用寿命在20年~25年。在使用的第5年~第15年时,属于图2浴盆曲线的第二阶段,故障率符合指数分布特征。根据卷烟生产设备参数的不同取值,计算出3种设备维护技术的修复成果,具体以维护前与维护后的设备各项指标为参照,故障发生概率越小,证明该种维护技术的修复效果越好。根据浴盆故障曲线第二阶段的故障函数式(3),分别得出使用3种维护技术下的卷烟生产设备故障率,如表2所示。

表2 不同维护技术下生产设备的故障率

单位:%

项目	文献[4]方法		文献[5]方法		文中智能维护技术故障率	
	维护前	维护后	维护前	维护后	维护前	维护后
第5年	42.334 6	40.427 0	39.248 7	39.021 3	47.643 2	40.220 4
第6年	44.765 4	44.054 3	41.097 2	40.987 4	43.887 4	37.220 9
第7年	44.675 6	43.443 1	42.220 9	41.678 2	44.902 0	38.876 0
第8年	45.462 4	44.660 1	43.663 0	42.776 1	42.785 0	36.656 0
第9年	45.586 9	45.123 2	44.765 2	43.109 7	45.986 0	38.767 0
第10年	44.986 7	42.442 1	44.552 8	43.332 0	43.949 0	36.998 0
第11年	44.987 6	43.556 4	45.551 7	44.886 9	42.848 0	35.462 0
第12年	45.789 6	45.012 2	47.689 0	46.695 8	43.909 0	38.272 0
第13年	46.776 9	46.060 1	48.887 7	48.332 0	44.684 0	39.767 0
第14年	48.869 1	47.327 6	48.373 0	41.203 0	47.773 0	42.302 0
第15年	48.887 6	48.012 9	47.665 0	41.228 0	49.493 0	41.306 0

根据维护前和维护后的数据可知,生产设备经过传统维护技术维护后,故障率下降了0.227 4%~1.530 3%,而应用文中智能维护技术的故障率下降了4.917 2%~7.442 8%。因此,卷烟生产设备应用文中智能维护技术比传统维护技术的故障发生概率更低。

3 结语

本文通过对卷烟生产设备维护技术的相关研究,设计出一种更有效的智能维护技术,在一定程度上推动了设备维护技术的发展进程。同时,也为学术界开展相关研究奠定了理论基础和实践基础。

由于实验约束条件过多,研究时间有限,文中在卷烟生产设备的使用数据方面收集得还不够全面,未来将不断完善。

参考文献:

- [1] 周凯敏,张浩博,何晋,等. 卷烟机参数对细支烟卷制的影响[J]. 食品与机械,2020,36(3):129-132,142.
- [2] 党晓婧,邓世聪,吕启深,等. 基于云计算的全维度设备状态维护系统研究[J]. 电测与仪表,2020,57(5):8-13.

- [3] 马智亮,向星磊,任远. 基于RCM方法的建筑设备维护策略定量决策模型[J]. 清华大学学报(自然科学版),2020,60(4):348-356.
- [4] 李捷,陆海华,王翔,等. 基于机器视觉的烟支接装质量在线检测系统[J]. 烟草科技,2019,52(9):109-114.
- [5] 周江,刘万里,陈明,等. GD-H1000 卷烟包装机烟支推进机构的改进[J]. 包装工程,2019,40(1):156-162.
- [6] 周雅宁. 烟梗加工处理技术与设备研究进展[J]. 中国烟草学报,2019,25(2):121-129.
- [7] 刘洋,王德新,程丽芬,等. 基于运动生物力学视角研究运动性疲劳干预方案的可视化知识图谱分析[J]. 中国组织工程研究,2019,23(27):4291-4299.
- [8] 杨鸿斌,李坤. 卷烟包装辅料自动输送系统设计[J]. 包装工程,2018,39(21):37-41.
- [9] 高明奇,顾亮,贾学伟,等. 细支滤棒成型机的设备参数分析与改进[J]. 机械设计与制造,2018(9):240-243.
- [10] 崔玉,蒋玮. 基于JAVA的多轴疲劳寿命可视化平台开发[J]. 科学技术与工程,2018,18(21):212-218.

收稿日期:2021-01-22