

研究进展

印刷机设备状态监测与故障诊断研究进展

张海燕, 张明龙, 徐卓飞, 徐倩倩

(西安理工大学, 西安 710048)

摘要: 通过对国内外印刷机状态监测与故障诊断研究情况和发展趋势的分析, 认为当前对印刷机监测的研究主要集中在振动信号的测试研究、专家经验知识的应用、模式识别算法引入等几个方面, 并论述了当前基于印刷图像处理的印刷机故障诊断这一新方向的研究情况。由于印刷机不断朝着高速度、高精度、高自动化程度方向发展, 传统故障诊断方法在印刷机系统中的应用已受到很大限制, 研究认为, 兼顾多元信息实现全面状态监测, 融合经验知识与先进识别算法建立故障决策体系, 从印刷画面信息中提取设备参数, 将是今后印刷机故障诊断研究的重点。

关键词: 印刷机; 状态监测; 故障诊断

中图分类号: TS803.6; **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)19-0108-06

Progress in Status Monitoring and Fault Diagnosis of Printing Press Equipment

ZHANG Hai-yan, ZHANG Ming-long, XU Zhuo-fei, XU Qian-qian

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The research situation and development trend of status monitoring and fault diagnosis of printing press in both domestic and foreign country was analyzed. It was concluded that the research of press monitoring is focused on several aspects, such as vibration signal testing, application of expert experience and knowledge, and introduction of pattern recognition algorithms. Fault diagnosis of printing press based on printing pattern was discussed. As the development of printing machine, traditional fault diagnosis method has been largely restricted in a press system. We considered that future research will be focused on the following: taking multi-information monitoring in printing machine, establishing fault decision-making system with the fusion of empirical knowledge and advanced recognition algorithm, and extracting parameters from the printed information.

Key words: printing machine; status monitoring; fault diagnosis

印刷业在文化教育、货币证券、商业包装、广告传媒等领域发挥着重要作用, 渗透在国民经济发展的各环节之中, 印刷机作为印刷行业的核心设备, 其先进程度直接决定了印刷生产水平。印刷机是将图像和文字信息转移到承印物表面上的机械设备, 分为胶印机、凹印机、柔印机与数字印刷机等多个种类, 其中胶印机应用最为广泛, 通常也直接称之为印刷机。印刷机包括多组功能单元和多个物料系统, 从功能上可分

为输纸单元、印刷单元、收纸单元以及辅助单元等, 从结构上可分为输纸系统、传动系统、定位系统、印刷系统、传纸系统、收纸系统、输水输墨系统和控制系统等^[1-4]。

由于印刷机具备结构复杂、高速度运转等特点, 其运行过程中频繁的故障往往会导致大量印刷物料的损失。当代高速胶印机速度普遍达到 18 000 张/小时, 凹印机可达到 400 m/min, 在实际生产中, 一旦

收稿日期: 2013-06-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(51275406); 陕西省教育厅科学研究计划项目(2013JK1030); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2013JM7009)

作者简介: 张海燕(1957-), 女, 北京人, 西安理工大学教授、硕士生导师, 主要研究方向为印刷机仿真与设计, 印刷机故障诊断技术。

设备发生故障却未被及时发现,将在短时间内产生大量废品,浪费大量纸张、油墨、部分昂贵包装材料等,同时会产生更多的废气和有机溶剂,造成严重的环境污染。此外,印刷设备的状态监测和故障诊断及维修工作对人工经验依赖性极强,往往导致相关企业在设备维修与调试中受到人员因素的很大限制。

考虑到印刷机状态监测与故障诊断中存在复杂的系统特性和人工经验依赖性强等特点,为了提高印刷机维修及调试效率,国内外相关企业和学者结合先进的机械故障理论与技术手段,对于印刷机展开了广泛深入的状态监测及故障诊断研究,主要包括以下4个方面,见图1。

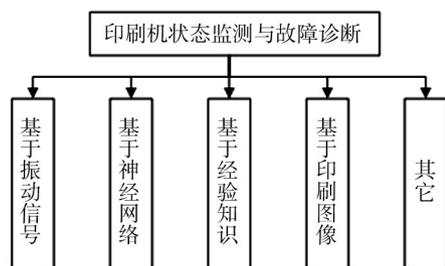


图1 当前印刷机状态监测与故障诊断主要研究方向

Fig.1 Research directions of status monitoring and fault diagnosis

1) 振动信号分析这一经典故障诊断方法,在针对印刷机轴承、齿轮、滚筒与墙板等核心部件的故障监测中得到了有效应用。

2) 鉴于印刷机对人工经验依赖性强的特点,一些学者从经验知识的角度出发对印刷机系统进行了分析,包括案例推理、专家系统、知识模型等故障诊断方法的研究。

3) 随着计算机技术的发展,模式识别在机械故障诊断中得到了广泛应用,针对印刷机的系统复杂性和多介质耦合特性,机器学习、神经网络、支持向量机等方法在一定程度上弥补了经验知识学习及计算能力弱的缺陷。

4) 由于印刷过程涉及水、墨、纸张等多个物料系统,并且与温度、压力、速度等多个物理参数相关。许多学者从这些印刷相关参数入手,进行印刷机状态监测研究,使得印刷机故障诊断呈多元信息化发展,这也是当前机械故障诊断领域的发展趋势。

1 基于振动信号分析的印刷机状态监测研究

机械的故障特征常常在振动信息中体现出来,故

利用振动信号对设备进行分析是状态监测与故障诊断中最常用的方法^[5-6]。随着测试技术的发展,小波变换、频谱分析等方法被广泛引入印刷机研究中,大幅提高了印刷机自动化程度,并为印刷机的优化设计提供了重要理论依据。

国外学者针对印刷机实际生产中出现的故障进行了深入研究,从振动信号入手展开,取得了很好的实际应用效果。加拿大滑铁卢大学 W. Wang^[7]等针对印刷机的重影问题展开了深入研究,通过对印刷机各个单元轴承、齿轮系的同步性进行分析,研究各个机械部件对于重影带来的影响,利用电磁式拾波器建立了测试系统,结合连续小波变换对多机组齿轮同步性进行状态监测,很好地获取了齿轮的工作状态,对卷筒纸印刷机的传动齿轮磨损、波动、齿轮同心度、齿轮同步进行了研究,分析了各种故障可能对印刷机重影产生的影响,并通过印刷机实际测试验证了所提出的方法。瑞士 Applied Sciences 大学的 Daniel Greco^[8]等对卷筒纸印刷机纸带的振动特性进行了研究,建立了描述承印物运动的非线性方程,并且进行了实验验证,之后根据行波理论建立了纸带控制器以消除纸带振动,并根据测量数据得出了相应的传递函数,通过对2种不同频率柔性承印材料的测量,证明了所提出控制器的有效性和鲁棒性。英国布拉德福德大学 H. Bartlett^[9]等对滚筒的高速旋转和扭转进行了分析,构建了滚筒模型,并研究了任意瞬时滚筒角速度和剪应力随扭矩变化的规律,进行了仿真实验,研究发现滚筒随着输入扭矩的变化发生剧烈振动,并产生较大的剪切应力,可能会导致结构失效,研究对于印刷机滚筒设计有着重要意义。俄罗斯的 G. B. Kulilov^[10]对塔式轮转印刷机印刷单元进行了振动分析,通过实验发现印刷单元的振幅受印版滚筒和橡皮滚筒相关齿轮状态影响,认为进行轴承运行状态监测对于印刷机设备维护有着重要意义。韩国建国大学 Changwoo Lee^[11]等对卷筒纸印刷机绕卷机构进行了分析研究,针对纸卷的收缩建立了横向张力分布数学模型,并提出了改进的绕卷方法用以消除2类故障。

国内学者对印刷机的整机特性进行了测试与研究,为印刷机设计及结构优化提供了理论支持。北京工业大学杨家华^[12]等利用三向加速度传感器和非接触式位移传感器构建了印刷机测试系统,分析了滚筒的径向跳动曲线和加速度曲线,说明了印刷机在高速运行时的共振现象,并对印刷机机体进行了频谱分

析,通过锤击法测试了机体的频率响应函数,该研究为印刷机设计中的抗振降噪问题提供了可靠理论依据,但未对印刷机各组执行机构之间相互的振动影响进行分析。西安理工大学黄颖为等^[13]从测试平台的构建和软件的开发两方面详细论述了印刷机振动测试系统的特点,详细分析了印刷机在不同转速下振动信号的变化规律和原因,以便监测消除印刷机的有害振动,并对比了印刷机的离合压状态下振动信号的差异,发现在印刷机递纸滚筒附近,处于合压状态下的振动加速度正负最大值均明显比离压状态下的小,认为合压状态下,在递纸滚筒咬纸输纸的过程中,纸张起到了缓冲作用,减缓了振动,但是由于测试点较少,测试范围并不够充分。北京印刷学院在印刷机状态检测与振动特性领域展开了深入研究,其中武淑琴等^[14]利用激光多普勒测振仪在四色胶印机上搭建了测试平台,监测了橡皮滚筒、压印滚筒及传纸滚筒的轴向振动信号,得到各滚筒在不同速度下的轴向串动量,分析了轴向串动量与印刷机结构的关系,对于印刷机各个滚筒的轴向串动研究有着重要意义,但是尚未对不同故障模式的印刷机状态进行研究。孙玉秋^[15]系统地分析了卷筒纸印刷机张力测试系统以及各种传感器在张力控制中的优缺点,阐述了卷筒纸印刷机纸带张力控制的重要性和因张力不当产生的印刷问题,说明了张力监测控制系统对于印刷生产的重要性。

通过上述分析,发现当前对于印刷机的振动分析与监测研究,多针对单一机构或部件,如齿轮、轴承、滚筒和纸带等,分析了这些部件的振动特性并进行数学建模,可为故障诊断提供重要理论支撑,并取得了较好的实际应用效果,但相关研究普遍对印刷机整机性能考虑不足。随着当前印刷机自动化程度不断提高,光、电、气、液等多系统耦合程度的不断增加,认为单一依靠振动信息的印刷机组状态监测与诊断方法已受到限制^[16]。

2 基于经验知识的印刷机故障诊断研究

由于印刷设备的维护对于人工经验知识有着非常强的依赖性,因而人工成本偏高、专家数量较少等问题限制了设备维护效率。随着人工智能技术的不断发展,基于经验知识的故障诊断方法在复杂设备的维护和调节中得到了广泛认可。由于该类方法可以

用于那些没有精确数学模型或很难建立数学模型的复杂系统,所以在印刷设备诊断维护中得到了应用,其中以专家系统、案例推理等基于知识经验的方法为主^[17-18]。

威尔士斯旺西大学 Philip W. Grant 等^[19]利用商业基于案例推理(Case-based Reasoning, CBR)的软件工具,针对印刷机故障展开了研究,对比了 CBR 与基于规则的推理(Rule-based Reasoning, RBR),证实了一些简单的印刷机故障可以通过案例推理法实现,并且讨论了引入基于案例的推理对印刷行业的影响,但是由于印刷过程涉及因素较多,如何建立有效的实例索引机制与全面的组织方式是限制其应用的关键。考虑到印刷机需要操作人员经验知识的重要性,科威特大学 S. Almutawaa 等^[20]通过建立专家系统以实现操作人员对于设备的操作调节功能,在专家系统的设计中建立了知识库,通过调节权重关系使专家系统具备学习能力,并分析了知识经验在印刷机调节过程中的重要性。

在国外学者研究基础上,案例推理和专家系统在国内印刷机故障诊断中取得了很好的实际应用效果。张磊等^[21]通过案例研究,得到了滚筒转子不平衡、齿轮松动所引起振动的加速度曲线和频谱曲线,对各个故障所对应的曲线特征进行了总结,对于相关故障案例进行了系统分析。王春祥等^[22]将基于案例推理的方法引入到轮转印报机的故障诊断领域,研究基于案例推理技术的原理和方法,并且论述了案例推理在轮转印报机及其辅助设备故障诊断系统中的实现过程,最后给出了具体诊断应用的实例。考虑到印刷故障的多样性和复杂性,为提高印刷故障诊断和排除的能力,陈虹等^[23]根据对印刷故障进行判断、分析、确认和排除的思维模式,进行了印刷故障的分类建库,在虚拟印刷机平台上建立了印刷故障学习系统,能够在脱离样机的情况下,模拟印刷故障的类型、产生的原因和解决方法。于志强^[24]等以基于案例的推理技术为技术手段,建立了印刷机设备故障诊断专家系统,根据 CBR 工作机理,将案例库和推理机制细分为案例表示、案例索引、案例检索等内容进行研究,最后针对某印刷企业设计出故障诊断专家系统,研究同时指出案例推理方法在特征提取与识别中,缺乏有效的技术手段,在很大程度上依赖专家经验,存在主观性较强的缺陷。

专家系统最大的优点在于其可以结合专家的丰

富经验作出全面、准确而快速的诊断,为检修人员提供合理的依据,因此在国内外印刷行业得到了应用,但其本身也存在不足,其中专家知识表述的规则化有相当大的难度,而且系统学习能力非常有限,一旦遇到新的故障现象,往往陷入无法解决的情况中。随着设备复杂程度和自动化程度的提高,故障的耦合特性越来越强,如何提高专家系统的计算能力和学习能力是其今后需要解决的问题。

3 基于神经网络的印刷机故障诊断研究

人工神经网络凭借其强大的非线性适应性信息处理能力,克服了传统人工智能方法在非结构化信息处理方面的缺陷,使之在神经专家系统、模式识别、智能控制、组合优化、预测等领域得到了成功应用。近年来随着计算机技术和机械设备自动化程度的不断提高,其被广泛引入机械故障诊断领域中^[25-26]。

考虑到印刷机系统的复杂性和印刷过程的耦合特性,一些学者将神经网络技术与机械故障诊断理论相互融合,进行了基于神经网络的印刷机故障诊断理论及应用研究。Ren Linghui 等^[27]利用 BP 神经网络对印刷机油墨状态进行了监测研究,通过提取星标纹理特征,结合神经网络可准确判断出印刷机墨量状态,对于提高印刷机状态监测的自动化程度具有重要意义。张昌凡等^[28]针对非线性系统,提出了一种综合集成滑模控制器设计方法,采用遗传算法进行参数调节,使系统具有良好的动态性能,之后引入神经网络在线调整控制器参数,从而克服了由不确定性引起的系统轨迹偏离切换函数,并且通过变学习率的学习算法来加快神经网络的收敛性,并在凹版印刷机张力调节中对所提出方法展开了应用。初红艳等^[29]将统计过程控制与神经网络技术相结合,开发了印刷过程质量智能监控系统,通过 BP 神经网络模型对统计过程控制图的参数检测与识别,监测印刷机工作状态并进行印刷过程故障判断,可为印刷机调节及维修提供帮助。鄢腊梅^[30]等提出了一种基于离散小波变换和概率神经网络的印刷过程振动信号的实时监测和故障诊断系统,利用小波包分解技术对印刷过程振动信号进行了降噪处理,并选择特殊频段进行了小波包重构,有效捕捉和分离了处于信号不通频段的印刷机故障特征分量,结合概率神经网络实现了印刷机运行状态监测和故障诊断,并进行了实验验证。

神经网络已在印刷机故障中充分展现出发展潜力,可以弥补专家系统、规则知识存在的学习能力差、容错性不足等缺陷。由于神经网络建立在经验风险最小原则上,因此在识别印刷机设备故障前,往往需要对大量的故障样本进行网络训练,给企业带来较高的成本。此外如何合理地引入隶属度函数,以便于区分故障程度等,也是当前急需解决的问题,但神经网络及相关技术的研究依然是今后印刷设备故障诊断研究的重点内容。

4 基于图像分析的印刷机状态监测研究

印刷品中包含丰富的图像信息,印刷机区别于其他设备的重要特征在于印刷品的特殊性,而印刷故障恰恰是影响印刷过程顺利进行及带来印刷质量问题的最主要和最直接的原因。印刷故障的诱因很多,任何机械设计的缺陷,机械调节和操作的不到位,以及印刷材料、印刷环境的变化等,都会在印刷品上产生相应的可视故障现象。在实际生产中,个别经验丰富操作人员可以通过印刷品的质量,粗略估计潜在的故障,但是这种逆向推理的过程并没有得到科学挖掘和系统分析^[31]。

考虑到印刷机作为一种复杂机械系统,其设备的运行状态或多或少会反映在印刷品上,相关学者提出了从印刷画面中挖掘印刷机故障的诊断思想,并且展开了相关研究,已初步取得一定成果。刘东昌^[32]等针对印刷生产中的印张数量检测问题,提出了一种基于纹理分析的印刷品张数检测算法,可通过对印刷品侧面图像的分析获取张数值。研究先利用 Gabor 滤波进行印张侧面纹理的图像增强,之后结合分段投影消除光照等因素的干扰,最后引入经验模式分解方法对图像的投影信息序列进行分解,综合统计决策理论确定最终张数值,并且通过实验验证了该方法的可靠性和有效性,相对于传统印张检测技术而言大大提高了检测速度和自动化程度。徐卓飞等^[33]通过采集印刷机收纸堆图像,利用灰度共生矩阵进行分析,构建与纹理相关的特征向量,通过构建并训练多分类支持向量机网络,成功检测出了纸张歪斜、弯曲、破损等主要收纸故障,实现了印刷机收纸故障的自动诊断。任玲辉等^[34]提出一种矩形图像检测方法,利用旋转投影得到灰度投影积分的极值,可准确并快速定位印刷图像中的星标,实现了直

线信息的快速检测,可反馈印刷机的规矩故障。Zhuofei Xu 等^[35]基于灰度共生矩阵和特征图像匹配的方法,通过分析印刷画面信息完成了与墨杠相关的印刷机故障模式分类。

从印刷画面的图像信息中获取图像信息,为印刷机故障诊断研究开辟了新的思路,结合现有的与图像相关的机械故障诊断技术,针对印刷品和印刷机之间的联系进行挖掘建模,使得故障诊断结果更加真实可靠,而且与实际生产保持密切联系,具有较好的发展潜力^[36-37]。

5 结论及展望

印刷设备自身的状态监测与故障诊断技术水平是保障其正常可靠工作的前提,当前印刷机速度不断提高,由于印刷生产本身会耗损大量的纸张及有机溶剂,如果不能及时地排查解决故障,将会给环境带来额外的污染,造成严重的资源浪费。文中针对当前印刷机状态监测与故障诊断进行了系统性综述,认为对印刷机进行多参数监测,结合经验知识与智能识别算法,并兼顾印刷画面进行故障系统分析,将是今后重点研究的方向。

1) 随着印刷机机械自动化程度的不断提高,其本身结构及控制系统越来越复杂,加上印刷流程涉及多个物料系统,因此仅从单一信息源进行设备监测难以满足其发展要求,需要对印刷机的电、光、液、热等多源参数与纸张、油墨、水路等多介质系统进行信息融合研究,才能充分反映出设备的运行状态以实现复杂故障模式的诊断。

2) 基于经验知识的故障诊断方法存在计算能力不足以及学习能力差等缺点,限制了其在复杂机械系统中的应用,而当前随着人工智能与模式识别的发展,神经网络因其强大的学习能力和鲁棒性,在机械故障诊断领域展现出良好的应用前景,将印刷机专家经验知识与智能识别算法相融合,弥补了基于经验知识故障诊断方法的缺陷。

3) 由于印刷品历经印刷机各个单元,因此印刷品中会隐藏大量的印刷机状态信息,一旦设备产生故障或具有潜在故障,都会或多或少地在印刷品中得以体现,因此,如果将图像处理技术引入印刷机故障诊断,势必会在印刷机状态监测及诊断领域开辟新的研究思路。

参考文献:

- [1] 张海燕. 印刷机设计[M]. 北京:印刷工业出版社,2006:2-4.
ZHANG Hai-yan. Printing Design[M]. Beijing:Printing Industry Press,2006:2-4.
- [2] 王仪明,蔡吉飞,赵吉斌. 高速胶印机关键技术研究现状及进展[J]. 中国机械工程,2007,18(10):1225-1259.
WANG Yi-ming, CAI Ji-fei, ZHAO Ji-bin. Research and Development of Key Technologies for High Speed Offset Presses[J]. China Mechanical Engineering,2007,18(10):1225-1259.
- [3] 董正平,傅燕鸣. 印刷机械中凸轮机构的反求设计[J]. 机械设计与研究,2003,19(4):72-74.
DONG Zheng-ping, FU Yan-ming. The Reverse Designing Cam Mechanism in Printing Machinery[J]. Machine Design and Research,2003,19(4):72-74.
- [4] KANG H, LEE C, SHIN K. Modeling and Compensation of the Machine Directional Register in Roll-to-roll Printing[J]. Control Engineering Practice,2013,21(5):645-654.
- [5] LEI Y G, HE Z J, ZI Y Y, et al. Fault Diagnosis of Rotating Machinery Based on Multiple ANFIS Combination with GAS[J]. Mechanical Systems and Signal Processing,2007,21(5):2280-2294.
- [6] PENG Z K, TSE P W, CHU F L. A Comparison Study of Improved Hilbert-Huang Transform and Wavelet Transform: Application to Fault Diagnosis for Rolling Bearing[J]. Mechanical Systems and Signal Processing,2005,19(5):974-988.
- [7] WANG W, GOLNARAGHI F, ISMAIL F. Condition Monitoring of Multistage Printing Presses[J]. Journal of Sound and Vibration,2005,27(4):755-766.
- [8] GRECO D, BLANC P, AUBRY E, et al. Active Vibration Control of Flexible Materials Found within Printing Machines[J]. Journal of Sound and Vibration,2007,300(3/5):831-846.
- [9] BARTLETT H, WHALLEY R. The Rotor Dynamics of Reeling Machinery[J]. Applied Mathematical Modelling,1999,23(10):757-777.
- [10] KULILOV G B. Diagnosing Cause of Increased Vibration of Printing Units of Tower Rotary Printing Presses[J]. Journal of Machinery Manufacture and Reliability,2008,37(4):391-396.
- [11] LEE C, KANG H, SHIN K. Advanced Taper Tension Method for the Performance Improvement of a Roll-to-roll Printing Production Line with a Winding Process[J]. International Journal of Mechanical Sciences,2012,59(1):61-72.
- [12] 杨家华,管华. 印刷机振动的测试与分析[J]. 北京工业

- 大学学报,2004,30(1):35-37.
- YANG Jia-hua, GUAN Hua. Test and Analysis of the Vibration of Printing Press[J]. Journal of Beijing Polytechnic University,2004,30(1):35-37.
- [13] 黄颖为,褚晓珂,赵庆海. 胶印机振动测试系统的研究[J]. 包装工程,2007,28(4):59-61.
- HUANG Ying-wei, CHU Xiao-ke, ZHAO Qing-hai. Research on the Vibration Testing System of Offset Machine [J]. Packaging Engineering,2007,28(4):59-61.
- [14] 武淑琴,王仪明,蔡吉飞,等. 基于振动测试的印刷机滚筒轴向串动研究[J]. 中国印刷与包装研究,2011,3(1):38-40.
- WU Shu-qin, WANG Yi-ming, CAI Ji-fei, et al. Research on the Axial Pulsation of the Press Cylinder Based on the Vibration Testing [J]. China Printing and Packaging Study, 2011,3(1):38-40.
- [15] 孙玉秋. 卷筒纸印刷机张力系统的检测[J]. 包装工程,2008,29(1):78-80.
- SUN Yu-qiu. Tension Detection System of Web Printing Press [J]. Packaging Engineering,2008,29(1):78-80.
- [16] 肖永新. 现代传感器技术在印刷机中的应用与保养[J]. 机电工程技术,2011,40(4):106-108.
- XIAO Yong-xin. Modern Sensor Technology in the Printing Press Application and Maintenance [J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology,2011,40(4):106-108.
- [17] LIU S C, LIU S Y. An Efficient Expert System for Machine Fault Diagnosis [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2003,21(9):691-698.
- [18] LI W L, TSAI Y P, CHIU C L. The Experimental Study of the Expert System for Diagnosing Unbalances by ANN and Acoustic Signals [J]. Journal of Sound and Vibration,2004,272:69-83.
- [19] PHILIP W G, PAUL M H, MOSELEY L G. Fault Diagnosis for Industrial Printers Using Case-based Reasoning [J], Engineering Applications of Artificial Intelligence, 1996, 9(2):163-173.
- [20] ALMUTAWAA S, MOON Y B. The Development of a Connectionist Expert System for Compensation of Color Deviation in Offset Lithographic Printing [J]. Artificial Intelligence in Engineering,1999,13(4):427-434.
- [21] 张磊,王仪明,武淑琴,等. 基于实例推理的印刷机传动系统的振动分析与研究[J]. 包装工程,2012,33(9):85-89.
- ZHANG Lei, WANG Yi-ming, WU Shu-qin, et al. Vibration Analysis and Study of Transmission System of Printing Press Based on Case Reasoning [J]. Packaging Engineering, 2012,33(9):85-89.
- [22] 王春祥,贾民平. 基于案例推理的进口高速轮转印报机故障诊断专家系统研制[J]. 中国制造业信息化,2007,36(11):52-55.
- WANG Chun-xiang, JIA Min-ping. The Fault Diagnosis Expert System for Imported Web Press Based on Case-based Reasoning Approach [J]. Manufacture Information Engineering of China,2007,36(11):52-55.
- [23] 陈虹,施向东,闫金平. 基于虚拟印刷机的印刷故障学习系统[J]. 包装工程,2007,28(10):24-26.
- CHEN Hong, SHI Xiang-dong, YAN Jin-ping. Printing Failure Learning System Based on Virtual Printing Press [J]. Packaging Engineering,2007,28(10):24-26.
- [24] YU Zhi-qiang, ZHAO Chun-hua, ZHU Da-lin, et al. Research on Case Representation in Printing Machine Fault Diagnosis Expert System Based on Case-based Reasoning [C]//2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering,2008, Wuhan:234-236.
- [25] 蒋江伟. 基于小波包和 SOM 神经网络的车辆滚动轴承故障诊断[J]. 机械设计与研究,2012,28(6):70-73.
- JIANG Wei-jiang. Fault Diagnosis of Vehicle Rolling Bearing Based on Wavelet Packet and SOM Neural Network [J]. Machine Design and Research,2012,28(6):70-73.
- [26] 雷亚国,何正嘉. 混合智能故障诊断与预示技术的应用进展[J]. 振动与冲击,2011,30(9):129-134.
- LEI Ya-guo, HE Zheng-jia. Advances in Applications of Hybrid Intelligent Fault Diagnosis and Prognosis Technique [J]. Journal of Vibration and Shock,2011,30(9):129-134.
- [27] REN Ling-hui, LIU Kai, ZHANG Hai-yan. Printing Machine Condition Monitoring Based on Printing Image Texture [C]//2011 International Conference on Mechanical Engineering and Technology, ICMET,2011, London:267-269.
- [28] 张昌凡,王耀南,何静,等. 遗传算法和神经网络融合的滑模控制系统及其在印刷机中的应用[J]. 控制理论与应用,2003,20(2):217-222.
- ZHANG Chang-fan, WANG Yao-nan, HE Jing, et al. GA-NN-integrated Sliding-mode Control System and Its Application in the Printing Press [J]. Control Theory & Applications,2003,20(2):217-222.
- [29] 初红艳,李鹏,蔡力钢. 基于控制图和神经网络的印刷过程质量智能监控技术[J]. 北京工业大学学报,2012,38(3):340-344.
- CHU Hong-yan, LI Peng, CAI Li-gang. Intelligent Monitoring Technology of Printing Process Quality Based on Control Chart and Neural Network [J]. Journal of Beijing Polytechnic University,2012,38(3):340-344.

4 结语

大型航空弹药作为和平年代军用储备的重要物资,包装是保证弹药贮存可靠性、安全性、使用性的重要组成部分。内外包装相组合的结构方案,性能优良,方便使用,价格合理,可以降低弹药储存环境要求,降低库房空调及吸湿设备数量,节约军费,经济效益明显,满足大型航空弹药包装现实需求。在此结构基础上,加强内包装防潮技术研究、加强外包装运输可靠性研究,应用新材料、新技术提高包装功能性能,降低成本,提高效益将是今后弹药包装企业为之奋斗的目标。

参考文献:

- [1] 刘剑霄. 航空弹药的包装防护技术[C]. 2009 全国兵器装备防护包装技术发展研讨会论文集,2009.
LIU Jian-xiao. The Protective Packaging Technology of Avi-

ation Ammunition [C]. Proceedings of the 2009 National Seminar on the Development of Weapon Equipment Protective Packaging Technology, 2009.

- [2] 陈明. 新形势下航空炸弹防护包装的发展[C]. 2009 全国兵器装备防护包装技术发展研讨会论文集,2009.
CHEN Ming. The Development of Aerial Bomb Packaging under the New Situation [C]. Proceedings of the 2009 National Seminar on the Development of Weapon Equipment Protective Packaging Technology, 2009.
- [3] 安振涛,胡君威,巩永校. 弹药密封包装内部湿度变化规律测试研究[J]. 包装工程,1994,15(1).
AN Zhen-tao, HU Jun-wei, GONG Yong-xiao. The Test and Research of Humidity Variation Inside the Sealed Ammunition Packaging [J]. Packaging Engineering, 1994, 15(1):
- [4] 安振涛. 论弹药包装的现状与发展[C]. 96 国际包装大会论文集,1994.
AN Zhen-tao. Discussion about the Present Situation and the Development of Ammunition Packaging [C]. Proceedings of 96 International Conference on Packaging, 1994.

(上接第 113 页)

- [30] 鄢腊梅,管力明,胡更生,等. 基于 DWT 和 PNN 的印刷过程实时监测和故障诊断[J]. 振动、测试与诊断,2010,30(3):236-239.
YAN La-mei, GUAN Li-ming, HU Geng-sheng, et al. Real-time Vibration Monitoring and Diagnosis of Printing Machine Using Discrete Wavelet Transform and Probabilistic Neural Network [J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2010, 30(3):236-239.
- [31] 任玲辉,刘凯,张海燕. 基于图像处理技术的机械故障诊断研究进展[J]. 机械设计与研究,2011,27(5):21-23.
REN Ling-hui, LIU Kai, ZHANG Hai-yun. Progress on Mechanical Fault Diagnosis Based on Image Processing [J]. Machine Design and Research, 2011, 27(5):21-23.
- [32] 刘东昌,王欣刚,李锐. 基于纹理分析的张数检测算法[J]. 中国图象图形学报,2011,16(3):413-419.
LIU Dong-chang, WANG Xin-gang, LI Rui. Number Detection of Layered Structures Based on Texture Analysis [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(3):413-419.
- [33] 徐卓飞,张海燕,任玲辉. 基于 GLCM 与 SVM 的印刷机收纸故障诊断方法[J]. 计算机工程与应用,2013,(10).
XU Zuo-fei, ZHANG Hai-yan, REN Ling-hui. Automatic Fault Diagnosis Method for Receiving Paper Unit in Printing Press Based on GLCM and SVM [J]. Computer Engineering

and Applications, 2013, (10).

- [34] 任玲辉,刘凯,张海燕. 灰度投影积分极值法的矩形检测[J]. 计算机工程,2012,38(8):159-161.
REN Ling-hui, LIU Kai, ZHANG Hai-yan. Rectangle Detection of Gray Projection Integral Extreme Value Method [J]. Computer Engineering, 2012, 38(8):159-161.
- [35] XU Zhuo-fei, ZHANG Hai-yan, REN Ling-hui. Fault Diagnosis Method for the Roller-marks in Offset Printing Machine Based on Texture Recognition [C]. 2012 2nd China Academic Conference on Printing and Packaging, 2012, Beijing, 361-366.
- [36] 苏静,黎明. 基于灰度共生矩阵的金属断口图像的分类研究[J]. 计算机工程与应用,2008,44(4):223-226.
SU Jing, LI Ming. Research of Metal Fracture Image Classification Based on GLCM [J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(4):223-226.
- [37] 张媛,程万胜,赵杰. 不变矩法分类识别带钢表面的缺陷[J]. 光电工程,2008,35(7):90-94.
ZHANG Yuan, CHENG Wan-sheng, ZHAO Jie. Classification of Surface Defects of Strips Based on Invariable Moment Functions [J]. Opto-electronic Engineering, 2008, 35(7):90-94.