

# 金属磁记忆检测技术的现状与发展

张卫民 董韶平 张之敬



张卫民 副教授

**摘要:** 金属磁记忆检测是目前无损检测领域的最新技术,适用于铁磁性金属构件失效的早期诊断,在疲劳强度和寿命评估研究中极具潜力。介绍了金属磁记忆效应的概念及国内外磁记忆检测技术的现状,分析了磁记忆检测技术的特点和发展趋势,总结了目前磁记忆检测领域的研究进展。

**关键词:** 金属磁记忆; 无损检测; 铁磁性材料; 应力集中

**中图分类号:** TH878.3 **文献标识码:** A

金属结构的各种微观缺陷和局部应力集中,是导致机械结构和设备失效乃至发生事故的重要原因。应力和缺陷之间存在着紧密的联系,在应力集中区域,腐蚀、疲劳和蠕变过程的发展最为剧烈;在微观缺陷区域,也往往存在较大的应力集中现象。因此,应力变形状况,特别是导致损伤的临界应力变形状况便成为评价机器设备零部件结构强度和可靠性的一个重要依据。而为了及时准确地找出最危险的应力集中区域,就必须开发出与其相关联的诊断方法和诊断手段。

1997年,俄罗斯学者 Doubov<sup>[1]</sup> 在国际无损检测学术会议上提出金属应力集中区-金属微观变化-磁记忆效应相关学说,并形成一套全新的无损检测与诊断技术——金属磁记忆(metal magnetic memory, MMM)技术。

金属磁记忆检测技术问世以来,在国际无损检测学界引起巨大反响。已有的研究工作表明,该项技术有着巨大的发展潜力,无论在理论研究还是实际应用方面,都有不少问题有待深入探讨。

## 1 金属磁记忆检测的概念及现状

### 1.1 金属磁记忆效应

铁磁性金属零件在加工和运行时,由于受载荷和地磁场共同作用,在应力和变形集中区域会发生具有磁致伸缩性质的磁畴组织定向和不可逆的重新取向,这种磁状态的不可逆变化在工作载荷消除后不仅会保留,还与最大作用应力有关。金属构件表面的这种磁状态“记忆”着微观缺陷或应力集中的位置,即所谓的磁记忆效应<sup>[2~4]</sup>。

基于金属磁记忆效应的基本原理制作的检测仪器,通过记录垂直于金属构件表面的磁场强度

分量沿某一方向的分布情况,可以对构件的应力集中程度以及是否存在微观缺陷进行评价。

### 1.2 磁记忆方法和其它应力检测方法的比较

在评定设备和结构应力变形状态时,已知的检测方法是很多的,如利用电阻应变效应测应力法<sup>[5,6]</sup>、X光检测法<sup>[7,8]</sup>、巴克豪森磁噪声法和磁声发射法<sup>[9~13]</sup>、超声波法<sup>[14,15]</sup>、利用残磁和矫顽力测量机械应力法<sup>[16~19]</sup>等。

和上述检测方法相比,金属磁记忆检测方法获取的是金属零件被地磁场磁化后处于平衡状态的相对静止信息,不需要对被测表面进行任何磁化处理,完全利用地磁场作用下零件表面的“纯天然”磁信息进行工作,是一种被动检测方式。可以比其它方法更易实现检测仪器的小型化,并实现点磁测量<sup>[2~4]</sup>。

金属磁记忆检测实质上是从金属表面拾取地磁场作用条件下的金属构件漏磁场信息,这和漏磁检测方法有相似之处。但金属磁记忆检测方法获取的是在微弱地磁场作用下构件本身具有的“天然”磁化信息,在这种状态下,金属零件的应力分布情况可以通过磁场分布清晰地显现出来。而漏磁检测所进行的人工磁化,其强度远远地超过了零件表面的“天然”磁信息,人工磁化的同时,重重地遮盖了零件表面反映的“天然”磁信息,因此漏磁检测无法从零件表面获取应力分布情况,但人工磁化增强了缺陷处的漏磁场强度,因此,漏磁检测在检测宏观缺陷时更具优势。金属磁记忆检测方法也可以发现缺陷,但主要是应力变化较为剧烈部位的微观信息,通过评价该部位应力集中程度来发现缺陷,因此金属磁记忆方法的优势应在检测肉眼难以发现的微缺陷方面,适用于早期诊断。

由于应力集中往往早于缺陷产生之前出现,

所以金属磁记忆检测方法的突出优点是具有预报作用,可在零件失效之前采取措施,避免事故的发生,使损失降至最低程度。国外有关研究表明,该方法不但可检测零件表面的缺陷,而且可以检测内部达几十毫米深处的缺陷。此外,该方法不需要清理金属表面,探头和零件表面的小范围间隙变化不影响检测结果,检测速度快,现场应用十分方便。

### 1.3 金属磁记忆检测技术的研究现状

#### 1.3.1 国外研究现状

由于金属磁记忆检测技术是俄罗斯学者首先提出的,因此该方法主要在前苏联和东欧的一些国家和地区得到推广和应用,西方国家无损检测学界对这项技术的研究尚不够深入。磁记忆检测技术从提出到应用已有 20 余年的历史,在许多领域得到了有效应用。前苏联解体后,金属磁记忆诊断技术的发明人 Doubov 教授在俄罗斯成立了动力诊断公司,负责向世界各国推广这项技术。

对于管件特别是锅炉管道的检测是金属磁记忆方法应用较为成功的领域之一<sup>[20,21]</sup>。动力诊断公司研究人员第一次提出了被测管段上漏磁场  $H_p$  与机械应力的变化  $\Delta\sigma$  之间的关系:

$$H_p = \frac{\lambda^H}{\mu_0} \Delta\sigma$$

式中,  $\lambda^H$  为磁弹性效应不可逆分量;  $B^H$  为漏磁场感应强度;  $\mu_0$  为真空磁导率。

为了得出应力变化量  $\Delta\sigma$  和  $H_p$  之间的关系,重点应对  $\lambda^H$  进行研究。 $\lambda^H$  是一个取决于机械应力、外磁场强度和温度的函数,目前已经对管道钢等材料的  $\lambda^H$  值进行了较为详细的研究。

磁记忆检测技术在研究金属性能方面得到了成功应用<sup>[3]</sup>。利用该项技术,对拉伸试验机上的铁磁性试件的拉伸过程进行了检测。研究表明,利用该项技术可以准确预报将要拉断的位置。从铁磁学和金属材料学的微观角度解释了之所以产生这种结果的机理。

利用磁记忆检测技术对涡轮发动机转子叶片的检测,显示了该项技术在重要工业设备安全评估中的巨大潜力。对于整锻涡轮叶片的检测,通过磁场  $H_p$  的突变区域,找出了叶轮槽内正在发展的裂纹,有效避免了重大事故的发生。在金属焊接件的质量评价中,金属磁记忆检测方法也得到了成功的应用。

磁记忆检测方法在金属腐蚀检测中也十分有效,这是其它磁检测方法难以做到的。利用该方法成功找出了肉眼难以发现,只在金属显微镜下才

可发现的金属微观腐蚀现象<sup>[22]</sup>。

已知的利用磁记忆方法进行设备结构诊断的基本定性准则,是找出铁磁性金属表面磁场强度法向分量在零值线上下剧烈变化的区域,并计算该区域的磁场法向分量梯度,该分量梯度在数值上等于磁场强度最大值和最小值的模数差值比上两点之间的距离<sup>[2~4]</sup>。这一评价准则是俄罗斯动力诊断公司的研究人员首先提出的,并在多个国家申报了专利。目前这一评价准则在磁记忆检测实践中得到了广泛应用。

在磁记忆检测技术仪器开发方面,动力诊断公司研究人员研制的 TSC-1 型金属磁记忆检测仪,具有性能稳定、灵敏度高、使用方便等特点;与之配套的数据处理软件 - YSTEM 具有较丰富的图形显示和灵活的打印功能,目前该套仪器在多个国家得到推广和应用。俄罗斯动力诊断公司推出了 20 多种工业设备的检测方法和焊接受热管路和天然气管道的行业指导性文件,三年前中国机械工程学会国外科技发展研究会引进该项技术,目前俄罗斯动力诊断公司在中国设立了分支机构,进行磁记忆检测仪器的销售和技术培训。

#### 1.3.2 国内研究状况

磁记忆检测技术被介绍到我国只有几年历史。但磁记忆检测技术在我国无损检测学界引起了巨大兴趣和反响,短短几年内,已有论著、文章和检测仪器陆续出现<sup>[2,23~30]</sup>。

在机理研究方面,近来国内的文章分别从不同角度解释了磁记忆效应的产生机理。如从电磁学角度出发的电磁感应说,即铁磁性材料垂直于地磁场作用方向的横截面积,在定向应力作用下会发生应变,因而通过此横截面的磁通量会发生变化,由电磁感应定律知,该截面上必然产生感应电流,并激励出感应磁场使工件磁化<sup>[23]</sup>。又如基于铁磁学基本理论的能量平衡说,即磁记忆效应产生的内在原因是金属组织结构的不均匀性,材料内部不均匀处会出现位错,在地磁场环境中施加应力,则会出现滑移运动<sup>[24]</sup>,其结果会引起位错的增殖,产生很高的应力能。能量平衡的结果,使得铁磁零件内部磁畴的畴壁发生不可逆的重新取向排列,由于金属内部存在多种内耗效应,使得动载荷消除后,在金属内部形成的应力集中区会得以保留。为抵消应力能,磁畴组织的重新排列也会保留下来,并在应力集中区形成类似缺陷的漏磁场分布形式,即磁场的切向分量为最大值,而法向分量符号发生改变,且具有过零值点。丁辉

等<sup>[26]</sup>则建立了裂纹类缺陷应力场和磁通量变化间的数学模型,为磁记忆检测裂纹类缺陷提供了理论依据。

在磁记忆检测技术应用研究方面,大庆石油学院开展的对带有预制焊接裂纹的球型容器、爆破试验后破裂的管件和带有焊接缺陷的管件进行了磁记忆检测实验研究,利用已知评价标准,准确找出了构件中的缺陷,充分验证了金属磁记忆方法的有效性<sup>[27]</sup>。中国科学院上海精密机械研究所等单位开展的利用地磁场检测钢球表面裂纹的可行性研究,表明钢球被地磁场磁化后,从位于地磁场中的磁阻传感器采样得到的信号就能够分辨出钢球表面缺陷,为磁记忆技术在轴承检测中的应用提供了可行性方案<sup>[28]</sup>。黄松岭等<sup>[29]</sup>研究了焊缝附近残余应力分布和试件表面磁感应强度垂直分量的关系,研究表明,二者具有较好的一致性。北京理工大学在北京市自然科学基金资助下,和俄罗斯动力诊断公司及北京科技大学的研究人员开展合作,探讨磁记忆检测技术在应力腐蚀领域的应用,目前此项研究正在进行。

磁记忆检测技术能否得到有效应用的关键是检测设备,而检测设备的核心是磁敏传感器的研制。很多敏感器件如霍尔磁敏元件、铁磁线圈和磁敏电阻等,从原理和技术指标衡量,都可以应用于磁记忆传感器的研制。继俄罗斯动力诊断公司推出第一台磁记忆检测传感器后,国内已经相继推出了基于霍尔元件的磁记忆传感器<sup>[30]</sup>和基于磁敏电阻的磁记忆传感器<sup>[20]</sup>。进行针对弱磁测量的传感器研制,是磁记忆检测技术研究的一个重要方面。

## 2 金属磁记忆检测技术的发展

### 2.1 加强磁记忆检测技术的机理研究

从目前已有的资料来看,尽管有一些文献探讨磁记忆检测机理,但还没有达到十分透彻和系统的程度,形成较完整严密的理论体系。这方面的研究涉及磁性物理学、铁磁学、金属材料学、弹塑性力学、断裂力学、磁弹性理论、信号与系统分析等多个学科的知识。磁性物理学和铁磁学是从微观角度研究外界磁场和应力、温度等诸多因素作用时,磁畴和畴壁的可逆和不可逆转向问题<sup>[31,32]</sup>,借助于该理论,可从微观角度深入研究不同金属材料在不同外界条件作用下的磁记忆机理;磁弹性和热磁弹性理论是研究弹性固态物质中,电磁场、温度场和变形场之间相互作用的理论<sup>[33,34]</sup>,利用该理论可以建立不同形状构件在不同约束和受热条件下,应力场和磁记忆场之间的

对应关系;利用弹塑性力学和断裂力学则可以研究铁磁性材料表面缺陷和应力分布之间的关系<sup>[35,36]</sup>。

### 2.2 开展磁记忆检测的定量化研究

在无损检测技术中,缺陷的定量检测是一个十分重要的问题。磁记忆效应实质上是一种广义的漏磁场效应,和漏磁检测一样,也应该可以进行定量化研究。目前国内已有这方面的研究尝试,如对裂纹类缺陷的研究,通过建立裂纹的应力场模型,得出了剪切应力和裂纹几何参数之间的定量关系,再根据磁弹性基本方程,建立应力和磁场强度之间的关系,已经可以定量地解释一些裂纹形状因素对磁记忆场的影响<sup>[37]</sup>。但总体说来,这方面的研究还有待于深入,对于缺陷大小、形状和磁记忆参数之间的关系,还未见到系统的实验研究。这方面的研究进展,对于工程检测实践具有重要价值和意义。

### 2.3 系统开展磁记忆效应的机理性实验研究

在进行磁记忆机理研究时,可以更系统地开展实验研究,例如微裂纹在萌生初期至扩展阶段乃至产生宏观裂纹的整个过程,裂纹周围的磁场分布情况和应力之间的关系问题。可以通过预制人工缺陷,在疲劳试验机上进行循环加载,实现微裂纹的萌生与扩展,利用金属磁记忆检测仪记录裂纹处磁场分布,利用X射线探伤法、金相显微分析法、电镜分析法和能谱分析法等现代材料学分析测试手段,对裂纹形状、裂纹处的金相组织、应力分布等进行精确分析,总结缺陷形状的特点并进行分类,根据实际微缺陷的几何形状特点,归纳经验公式。

## 3 结论

基于金属磁记忆效应的检测方法是无损检测技术的最新发展,被认为是21世纪最有前景的诊断技术之一,适用于铁磁性金属构件失效的早期诊断,尤其在机械设备承载部件疲劳强度评估和寿命预测的应用研究中极具潜力<sup>[37,38]</sup>。由于这项技术发展历程相对较短,很多问题尚待进一步深入研究。这项技术若能在工程实践中得以有效应用,将会产生巨大经济效益和社会效益。

### 参考文献:

- [1] Doubov A A. Screening of Weld Quality Using the Metal Magnetic Memory. *Welding in the World*, 1998(41): 196~199
- [2] 任吉林,林俊明. 金属磁记忆检测技术. 北京: 中国

电力出版社, 2000

[ 3 ]  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  .  $\hat{A}\hat{A}^2 \hat{A}^3 \hat{A}^4 \hat{A}^5 \hat{A}^6 \hat{A}^7 \hat{A}^8 \hat{A}^9 \hat{A}^{10} \hat{A}^{11} \hat{A}^{12} \hat{A}^{13} \hat{A}^{14} \hat{A}^{15} \hat{A}^{16} \hat{A}^{17} \hat{A}^{18} \hat{A}^{19} \hat{A}^{20} \hat{A}^{21} \hat{A}^{22} \hat{A}^{23} \hat{A}^{24} \hat{A}^{25} \hat{A}^{26} \hat{A}^{27} \hat{A}^{28} \hat{A}^{29} \hat{A}^{30} \hat{A}^{31} \hat{A}^{32} \hat{A}^{33} \hat{A}^{34} \hat{A}^{35} \hat{A}^{36} \hat{A}^{37} \hat{A}^{38} \hat{A}^{39} \hat{A}^{40} \hat{A}^{41} \hat{A}^{42} \hat{A}^{43} \hat{A}^{44} \hat{A}^{45} \hat{A}^{46} \hat{A}^{47} \hat{A}^{48} \hat{A}^{49} \hat{A}^{50} \hat{A}^{51} \hat{A}^{52} \hat{A}^{53} \hat{A}^{54} \hat{A}^{55} \hat{A}^{56} \hat{A}^{57} \hat{A}^{58} \hat{A}^{59} \hat{A}^{60} \hat{A}^{61} \hat{A}^{62} \hat{A}^{63} \hat{A}^{64} \hat{A}^{65} \hat{A}^{66} \hat{A}^{67} \hat{A}^{68} \hat{A}^{69} \hat{A}^{70} \hat{A}^{71} \hat{A}^{72} \hat{A}^{73} \hat{A}^{74} \hat{A}^{75} \hat{A}^{76} \hat{A}^{77} \hat{A}^{78} \hat{A}^{79} \hat{A}^{80} \hat{A}^{81} \hat{A}^{82} \hat{A}^{83} \hat{A}^{84} \hat{A}^{85} \hat{A}^{86} \hat{A}^{87} \hat{A}^{88} \hat{A}^{89} \hat{A}^{90} \hat{A}^{91} \hat{A}^{92} \hat{A}^{93} \hat{A}^{94} \hat{A}^{95} \hat{A}^{96} \hat{A}^{97} \hat{A}^{98} \hat{A}^{99} \hat{A}^{100}$  .  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  , 1997( 9 ) : 35 ~ 39

[ 4 ]  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  .  $\hat{A}\hat{A}^2 \hat{A}^3 \hat{A}^4 \hat{A}^5 \hat{A}^6 \hat{A}^7 \hat{A}^8 \hat{A}^9 \hat{A}^{10} \hat{A}^{11} \hat{A}^{12} \hat{A}^{13} \hat{A}^{14} \hat{A}^{15} \hat{A}^{16} \hat{A}^{17} \hat{A}^{18} \hat{A}^{19} \hat{A}^{20} \hat{A}^{21} \hat{A}^{22} \hat{A}^{23} \hat{A}^{24} \hat{A}^{25} \hat{A}^{26} \hat{A}^{27} \hat{A}^{28} \hat{A}^{29} \hat{A}^{30} \hat{A}^{31} \hat{A}^{32} \hat{A}^{33} \hat{A}^{34} \hat{A}^{35} \hat{A}^{36} \hat{A}^{37} \hat{A}^{38} \hat{A}^{39} \hat{A}^{40} \hat{A}^{41} \hat{A}^{42} \hat{A}^{43} \hat{A}^{44} \hat{A}^{45} \hat{A}^{46} \hat{A}^{47} \hat{A}^{48} \hat{A}^{49} \hat{A}^{50} \hat{A}^{51} \hat{A}^{52} \hat{A}^{53} \hat{A}^{54} \hat{A}^{55} \hat{A}^{56} \hat{A}^{57} \hat{A}^{58} \hat{A}^{59} \hat{A}^{60} \hat{A}^{61} \hat{A}^{62} \hat{A}^{63} \hat{A}^{64} \hat{A}^{65} \hat{A}^{66} \hat{A}^{67} \hat{A}^{68} \hat{A}^{69} \hat{A}^{70} \hat{A}^{71} \hat{A}^{72} \hat{A}^{73} \hat{A}^{74} \hat{A}^{75} \hat{A}^{76} \hat{A}^{77} \hat{A}^{78} \hat{A}^{79} \hat{A}^{80} \hat{A}^{81} \hat{A}^{82} \hat{A}^{83} \hat{A}^{84} \hat{A}^{85} \hat{A}^{86} \hat{A}^{87} \hat{A}^{88} \hat{A}^{89} \hat{A}^{90} \hat{A}^{91} \hat{A}^{92} \hat{A}^{93} \hat{A}^{94} \hat{A}^{95} \hat{A}^{96} \hat{A}^{97} \hat{A}^{98} \hat{A}^{99} \hat{A}^{100}$  .  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  , 1996( 11 ) : 25 ~ 28

[ 5 ] 吉林工业大学农机系, 机械工业部农业机械科学研究所. 应变片电测技术. 北京: 机械工业出版社, 1984

[ 6 ] Procter E, Beaney E M . Recent Developments in Center - hole Techniques for Residual - stress Measurements. Exp. Tech., 1982, 6 ( 6 ) : 10 ~ 15

[ 7 ] 南俊马, 徐可为. X 射线无损应力测试技术的研究现状. 无损检测, 1999, 21( 8 ) : 350 ~ 353

[ 8 ] Ruud C O . X - ray and Advances in Portable Ffield Instrumentation. J. Metals, 1979, 31( 6 ) : 10 ~ 15

[ 9 ] Pasley R L . Barkhausen Effect - an Indication of Stress. Materials Evaluation, 1970, 28( 2 ) : 157 ~ 159

[ 10 ] Hill R, Geng R S, Cowking A, et al. The Effect of Nickel Hardness and Grain Size on Acoustic and Electro - magnetic Barkhausen emission. NDT & E International, 1991, 24( 4 ) : 179 ~ 186

[ 11 ] Tiitto K . Use of Barkhausen Effect in Testing for Residual Stress and Material Detect. Nondes - tructive Testing Australia, 1989, 26 ( 2 ) : 36 ~ 41

[ 12 ]  $\hat{A}\hat{A}^2 \hat{A}^3$  ,  $\hat{A}^2 \hat{A}^3 \hat{A}^4 \hat{A}^5 \hat{A}^6 \hat{A}^7 \hat{A}^8 \hat{A}^9 \hat{A}^{10} \hat{A}^{11} \hat{A}^{12} \hat{A}^{13} \hat{A}^{14} \hat{A}^{15} \hat{A}^{16} \hat{A}^{17} \hat{A}^{18} \hat{A}^{19} \hat{A}^{20} \hat{A}^{21} \hat{A}^{22} \hat{A}^{23} \hat{A}^{24} \hat{A}^{25} \hat{A}^{26} \hat{A}^{27} \hat{A}^{28} \hat{A}^{29} \hat{A}^{30} \hat{A}^{31} \hat{A}^{32} \hat{A}^{33} \hat{A}^{34} \hat{A}^{35} \hat{A}^{36} \hat{A}^{37} \hat{A}^{38} \hat{A}^{39} \hat{A}^{40} \hat{A}^{41} \hat{A}^{42} \hat{A}^{43} \hat{A}^{44} \hat{A}^{45} \hat{A}^{46} \hat{A}^{47} \hat{A}^{48} \hat{A}^{49} \hat{A}^{50} \hat{A}^{51} \hat{A}^{52} \hat{A}^{53} \hat{A}^{54} \hat{A}^{55} \hat{A}^{56} \hat{A}^{57} \hat{A}^{58} \hat{A}^{59} \hat{A}^{60} \hat{A}^{61} \hat{A}^{62} \hat{A}^{63} \hat{A}^{64} \hat{A}^{65} \hat{A}^{66} \hat{A}^{67} \hat{A}^{68} \hat{A}^{69} \hat{A}^{70} \hat{A}^{71} \hat{A}^{72} \hat{A}^{73} \hat{A}^{74} \hat{A}^{75} \hat{A}^{76} \hat{A}^{77} \hat{A}^{78} \hat{A}^{79} \hat{A}^{80} \hat{A}^{81} \hat{A}^{82} \hat{A}^{83} \hat{A}^{84} \hat{A}^{85} \hat{A}^{86} \hat{A}^{87} \hat{A}^{88} \hat{A}^{89} \hat{A}^{90} \hat{A}^{91} \hat{A}^{92} \hat{A}^{93} \hat{A}^{94} \hat{A}^{95} \hat{A}^{96} \hat{A}^{97} \hat{A}^{98} \hat{A}^{99} \hat{A}^{100}$  .  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  , 2001( 5 ) : 3 ~ 21

[ 13 ] Buttle D J, Scruby C B, Jakubovics J P, et al. Magneto - acoustic and Barkhausen Emission: Their Dependence on Dislocations in Iron. Philosophical Magazine A, 1987, 55( 6 ) : 717 ~ 734

[ 14 ] 刘镇清, 刘骁. 超声无损检测的若干新进展. 无损检测, 2000, 22( 9 ) : 403 ~ 405

[ 15 ] Liu Zhenqing, Wei Moan. Fuzzy Detection for Ultrasonic Flaw Inspection of Highly Scattering Materials. Chinese Journal of Acoustics, 1997, 16 ( 4 ) : 332 ~ 338

[ 16 ]  $\hat{A}$  ,  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  ,  $\hat{A}^4 \hat{A}^5 \hat{A}^6 \hat{A}^7 \hat{A}^8 \hat{A}^9 \hat{A}^{10} \hat{A}^{11} \hat{A}^{12} \hat{A}^{13} \hat{A}^{14} \hat{A}^{15} \hat{A}^{16} \hat{A}^{17} \hat{A}^{18} \hat{A}^{19} \hat{A}^{20} \hat{A}^{21} \hat{A}^{22} \hat{A}^{23} \hat{A}^{24} \hat{A}^{25} \hat{A}^{26} \hat{A}^{27} \hat{A}^{28} \hat{A}^{29} \hat{A}^{30} \hat{A}^{31} \hat{A}^{32} \hat{A}^{33} \hat{A}^{34} \hat{A}^{35} \hat{A}^{36} \hat{A}^{37} \hat{A}^{38} \hat{A}^{39} \hat{A}^{40} \hat{A}^{41} \hat{A}^{42} \hat{A}^{43} \hat{A}^{44} \hat{A}^{45} \hat{A}^{46} \hat{A}^{47} \hat{A}^{48} \hat{A}^{49} \hat{A}^{50} \hat{A}^{51} \hat{A}^{52} \hat{A}^{53} \hat{A}^{54} \hat{A}^{55} \hat{A}^{56} \hat{A}^{57} \hat{A}^{58} \hat{A}^{59} \hat{A}^{60} \hat{A}^{61} \hat{A}^{62} \hat{A}^{63} \hat{A}^{64} \hat{A}^{65} \hat{A}^{66} \hat{A}^{67} \hat{A}^{68} \hat{A}^{69} \hat{A}^{70} \hat{A}^{71} \hat{A}^{72} \hat{A}^{73} \hat{A}^{74} \hat{A}^{75} \hat{A}^{76} \hat{A}^{77} \hat{A}^{78} \hat{A}^{79} \hat{A}^{80} \hat{A}^{81} \hat{A}^{82} \hat{A}^{83} \hat{A}^{84} \hat{A}^{85} \hat{A}^{86} \hat{A}^{87} \hat{A}^{88} \hat{A}^{89} \hat{A}^{90} \hat{A}^{91} \hat{A}^{92} \hat{A}^{93} \hat{A}^{94} \hat{A}^{95} \hat{A}^{96} \hat{A}^{97} \hat{A}^{98} \hat{A}^{99} \hat{A}^{100}$  .  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  , 2000( 4 ) : 38 ~ 46

[ 17 ]  $\hat{A}$  ,  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  ,  $\hat{A}^4 \hat{A}^5 \hat{A}^6 \hat{A}^7 \hat{A}^8 \hat{A}^9 \hat{A}^{10} \hat{A}^{11} \hat{A}^{12} \hat{A}^{13} \hat{A}^{14} \hat{A}^{15} \hat{A}^{16} \hat{A}^{17} \hat{A}^{18} \hat{A}^{19} \hat{A}^{20} \hat{A}^{21} \hat{A}^{22} \hat{A}^{23} \hat{A}^{24} \hat{A}^{25} \hat{A}^{26} \hat{A}^{27} \hat{A}^{28} \hat{A}^{29} \hat{A}^{30} \hat{A}^{31} \hat{A}^{32} \hat{A}^{33} \hat{A}^{34} \hat{A}^{35} \hat{A}^{36} \hat{A}^{37} \hat{A}^{38} \hat{A}^{39} \hat{A}^{40} \hat{A}^{41} \hat{A}^{42} \hat{A}^{43} \hat{A}^{44} \hat{A}^{45} \hat{A}^{46} \hat{A}^{47} \hat{A}^{48} \hat{A}^{49} \hat{A}^{50} \hat{A}^{51} \hat{A}^{52} \hat{A}^{53} \hat{A}^{54} \hat{A}^{55} \hat{A}^{56} \hat{A}^{57} \hat{A}^{58} \hat{A}^{59} \hat{A}^{60} \hat{A}^{61} \hat{A}^{62} \hat{A}^{63} \hat{A}^{64} \hat{A}^{65} \hat{A}^{66} \hat{A}^{67} \hat{A}^{68} \hat{A}^{69} \hat{A}^{70} \hat{A}^{71} \hat{A}^{72} \hat{A}^{73} \hat{A}^{74} \hat{A}^{75} \hat{A}^{76} \hat{A}^{77} \hat{A}^{78} \hat{A}^{79} \hat{A}^{80} \hat{A}^{81} \hat{A}^{82} \hat{A}^{83} \hat{A}^{84} \hat{A}^{85} \hat{A}^{86} \hat{A}^{87} \hat{A}^{88} \hat{A}^{89} \hat{A}^{90} \hat{A}^{91} \hat{A}^{92} \hat{A}^{93} \hat{A}^{94} \hat{A}^{95} \hat{A}^{96} \hat{A}^{97} \hat{A}^{98} \hat{A}^{99} \hat{A}^{100}$  .  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  , 2000( 4 ) : 38 ~ 46

[ 18 ]  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  ,  $\hat{A}^4 \hat{A}^5 \hat{A}^6 \hat{A}^7 \hat{A}^8 \hat{A}^9 \hat{A}^{10} \hat{A}^{11} \hat{A}^{12} \hat{A}^{13} \hat{A}^{14} \hat{A}^{15} \hat{A}^{16} \hat{A}^{17} \hat{A}^{18} \hat{A}^{19} \hat{A}^{20} \hat{A}^{21} \hat{A}^{22} \hat{A}^{23} \hat{A}^{24} \hat{A}^{25} \hat{A}^{26} \hat{A}^{27} \hat{A}^{28} \hat{A}^{29} \hat{A}^{30} \hat{A}^{31} \hat{A}^{32} \hat{A}^{33} \hat{A}^{34} \hat{A}^{35} \hat{A}^{36} \hat{A}^{37} \hat{A}^{38} \hat{A}^{39} \hat{A}^{40} \hat{A}^{41} \hat{A}^{42} \hat{A}^{43} \hat{A}^{44} \hat{A}^{45} \hat{A}^{46} \hat{A}^{47} \hat{A}^{48} \hat{A}^{49} \hat{A}^{50} \hat{A}^{51} \hat{A}^{52} \hat{A}^{53} \hat{A}^{54} \hat{A}^{55} \hat{A}^{56} \hat{A}^{57} \hat{A}^{58} \hat{A}^{59} \hat{A}^{60} \hat{A}^{61} \hat{A}^{62} \hat{A}^{63} \hat{A}^{64} \hat{A}^{65} \hat{A}^{66} \hat{A}^{67} \hat{A}^{68} \hat{A}^{69} \hat{A}^{70} \hat{A}^{71} \hat{A}^{72} \hat{A}^{73} \hat{A}^{74} \hat{A}^{75} \hat{A}^{76} \hat{A}^{77} \hat{A}^{78} \hat{A}^{79} \hat{A}^{80} \hat{A}^{81} \hat{A}^{82} \hat{A}^{83} \hat{A}^{84} \hat{A}^{85} \hat{A}^{86} \hat{A}^{87} \hat{A}^{88} \hat{A}^{89} \hat{A}^{90} \hat{A}^{91} \hat{A}^{92} \hat{A}^{93} \hat{A}^{94} \hat{A}^{95} \hat{A}^{96} \hat{A}^{97} \hat{A}^{98} \hat{A}^{99} \hat{A}^{100}$  .  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  , 1996( 3 ) : 12 ~ 19

[ 19 ] Stevens K J . Stress Dependence of Ferromagnetic Hysteresis Loops for Two Grades of Steel. NDT & E International, 2000, 33: 111 ~ 121

[ 20 ]  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  ,  $\hat{A}^4 \hat{A}^5 \hat{A}^6 \hat{A}^7 \hat{A}^8 \hat{A}^9 \hat{A}^{10} \hat{A}^{11} \hat{A}^{12} \hat{A}^{13} \hat{A}^{14} \hat{A}^{15} \hat{A}^{16} \hat{A}^{17} \hat{A}^{18} \hat{A}^{19} \hat{A}^{20} \hat{A}^{21} \hat{A}^{22} \hat{A}^{23} \hat{A}^{24} \hat{A}^{25} \hat{A}^{26} \hat{A}^{27} \hat{A}^{28} \hat{A}^{29} \hat{A}^{30} \hat{A}^{31} \hat{A}^{32} \hat{A}^{33} \hat{A}^{34} \hat{A}^{35} \hat{A}^{36} \hat{A}^{37} \hat{A}^{38} \hat{A}^{39} \hat{A}^{40} \hat{A}^{41} \hat{A}^{42} \hat{A}^{43} \hat{A}^{44} \hat{A}^{45} \hat{A}^{46} \hat{A}^{47} \hat{A}^{48} \hat{A}^{49} \hat{A}^{50} \hat{A}^{51} \hat{A}^{52} \hat{A}^{53} \hat{A}^{54} \hat{A}^{55} \hat{A}^{56} \hat{A}^{57} \hat{A}^{58} \hat{A}^{59} \hat{A}^{60} \hat{A}^{61} \hat{A}^{62} \hat{A}^{63} \hat{A}^{64} \hat{A}^{65} \hat{A}^{66} \hat{A}^{67} \hat{A}^{68} \hat{A}^{69} \hat{A}^{70} \hat{A}^{71} \hat{A}^{72} \hat{A}^{73} \hat{A}^{74} \hat{A}^{75} \hat{A}^{76} \hat{A}^{77} \hat{A}^{78} \hat{A}^{79} \hat{A}^{80} \hat{A}^{81} \hat{A}^{82} \hat{A}^{83} \hat{A}^{84} \hat{A}^{85} \hat{A}^{86} \hat{A}^{87} \hat{A}^{88} \hat{A}^{89} \hat{A}^{90} \hat{A}^{91} \hat{A}^{92} \hat{A}^{93} \hat{A}^{94} \hat{A}^{95} \hat{A}^{96} \hat{A}^{97} \hat{A}^{98} \hat{A}^{99} \hat{A}^{100}$  .  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  , 1989( 8 ) : 13 ~ 15

[ 21 ]  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  .  $\hat{A}^4 \hat{A}^5 \hat{A}^6 \hat{A}^7 \hat{A}^8 \hat{A}^9 \hat{A}^{10} \hat{A}^{11} \hat{A}^{12} \hat{A}^{13} \hat{A}^{14} \hat{A}^{15} \hat{A}^{16} \hat{A}^{17} \hat{A}^{18} \hat{A}^{19} \hat{A}^{20} \hat{A}^{21} \hat{A}^{22} \hat{A}^{23} \hat{A}^{24} \hat{A}^{25} \hat{A}^{26} \hat{A}^{27} \hat{A}^{28} \hat{A}^{29} \hat{A}^{30} \hat{A}^{31} \hat{A}^{32} \hat{A}^{33} \hat{A}^{34} \hat{A}^{35} \hat{A}^{36} \hat{A}^{37} \hat{A}^{38} \hat{A}^{39} \hat{A}^{40} \hat{A}^{41} \hat{A}^{42} \hat{A}^{43} \hat{A}^{44} \hat{A}^{45} \hat{A}^{46} \hat{A}^{47} \hat{A}^{48} \hat{A}^{49} \hat{A}^{50} \hat{A}^{51} \hat{A}^{52} \hat{A}^{53} \hat{A}^{54} \hat{A}^{55} \hat{A}^{56} \hat{A}^{57} \hat{A}^{58} \hat{A}^{59} \hat{A}^{60} \hat{A}^{61} \hat{A}^{62} \hat{A}^{63} \hat{A}^{64} \hat{A}^{65} \hat{A}^{66} \hat{A}^{67} \hat{A}^{68} \hat{A}^{69} \hat{A}^{70} \hat{A}^{71} \hat{A}^{72} \hat{A}^{73} \hat{A}^{74} \hat{A}^{75} \hat{A}^{76} \hat{A}^{77} \hat{A}^{78} \hat{A}^{79} \hat{A}^{80} \hat{A}^{81} \hat{A}^{82} \hat{A}^{83} \hat{A}^{84} \hat{A}^{85} \hat{A}^{86} \hat{A}^{87} \hat{A}^{88} \hat{A}^{89} \hat{A}^{90} \hat{A}^{91} \hat{A}^{92} \hat{A}^{93} \hat{A}^{94} \hat{A}^{95} \hat{A}^{96} \hat{A}^{97} \hat{A}^{98} \hat{A}^{99} \hat{A}^{100}$  .  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  , 1995( 4 ) : 35 ~ 37

[ 22 ]  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  ,  $\hat{A}^4 \hat{A}^5 \hat{A}^6 \hat{A}^7 \hat{A}^8 \hat{A}^9 \hat{A}^{10} \hat{A}^{11} \hat{A}^{12} \hat{A}^{13} \hat{A}^{14} \hat{A}^{15} \hat{A}^{16} \hat{A}^{17} \hat{A}^{18} \hat{A}^{19} \hat{A}^{20} \hat{A}^{21} \hat{A}^{22} \hat{A}^{23} \hat{A}^{24} \hat{A}^{25} \hat{A}^{26} \hat{A}^{27} \hat{A}^{28} \hat{A}^{29} \hat{A}^{30} \hat{A}^{31} \hat{A}^{32} \hat{A}^{33} \hat{A}^{34} \hat{A}^{35} \hat{A}^{36} \hat{A}^{37} \hat{A}^{38} \hat{A}^{39} \hat{A}^{40} \hat{A}^{41} \hat{A}^{42} \hat{A}^{43} \hat{A}^{44} \hat{A}^{45} \hat{A}^{46} \hat{A}^{47} \hat{A}^{48} \hat{A}^{49} \hat{A}^{50} \hat{A}^{51} \hat{A}^{52} \hat{A}^{53} \hat{A}^{54} \hat{A}^{55} \hat{A}^{56} \hat{A}^{57} \hat{A}^{58} \hat{A}^{59} \hat{A}^{60} \hat{A}^{61} \hat{A}^{62} \hat{A}^{63} \hat{A}^{64} \hat{A}^{65} \hat{A}^{66} \hat{A}^{67} \hat{A}^{68} \hat{A}^{69} \hat{A}^{70} \hat{A}^{71} \hat{A}^{72} \hat{A}^{73} \hat{A}^{74} \hat{A}^{75} \hat{A}^{76} \hat{A}^{77} \hat{A}^{78} \hat{A}^{79} \hat{A}^{80} \hat{A}^{81} \hat{A}^{82} \hat{A}^{83} \hat{A}^{84} \hat{A}^{85} \hat{A}^{86} \hat{A}^{87} \hat{A}^{88} \hat{A}^{89} \hat{A}^{90} \hat{A}^{91} \hat{A}^{92} \hat{A}^{93} \hat{A}^{94} \hat{A}^{95} \hat{A}^{96} \hat{A}^{97} \hat{A}^{98} \hat{A}^{99} \hat{A}^{100}$  .  $\hat{A}^2 \hat{A}^3$  , 1990( 4 ) : 24 ~ 26

[ 23 ] 仲维畅. 金属磁记忆法诊断的理论基础. 无损检测, 2001, 23( 10 ) : 424 ~ 426

[ 24 ] 任吉林, 郭冠华, 宋凯, 等. 金属磁记忆检测机理的探讨. 无损检测, 2002, 24( 1 ) : 29 ~ 31

[ 25 ] 林俊明, 林春景, 林发炳. 基于磁记忆效应的一种无损检测新技术. 无损检测, 2000, 22( 7 ) : 297 ~ 299

[ 26 ] 丁辉, 张寒, 李晓红, 等. 磁记忆检测裂纹类缺陷的理论模型. 无损检测, 2002, 24( 2 ) : 78 ~ 80

[ 27 ] 戴光, 王文江, 李伟. 不同构件的磁记忆检测及分析方法研究. 无损检测, 2002, 24( 6 ) : 262 ~ 266

[ 28 ] 余婷, 石道渝. 利用地磁场检测钢球表面裂纹的可行性研究. 无损检测, 2001, 23( 8 ) : 330 ~ 333

[ 29 ] 黄松岭, 李路明, 汪来富, 等. 用金属磁记忆方法检测应力分布. 无损检测, 2002, 24( 5 ) : 212 ~ 214

[ 30 ] 林俊明, 林发炳, 林春景, 等. EMS - 2000 金属磁记忆诊断仪的研发. 无损检测, 2002, 24( 4 ) : 168 ~ 170

[ 31 ] 宛德福, 马兴隆. 磁性物理学. 北京: 电子工业出版社, 1999

[ 32 ] 郭贻诚. 铁磁学. 北京: 高等教育出版社, 1965

[ 33 ] 白象忠. 磁弹性、热磁弹性理论及其应用. 力学进展, 1996, 26( 3 ) : 389 ~ 406

[ 34 ] 白象忠. 板壳磁弹性理论基础. 北京: 机械工业出版社, 1996

[ 35 ] 李春雨, 邹振祝, 段祝平. 功能梯度材料尖端动态应力场. 力学学报, 2001, 33( 2 ) : 270 ~ 274

[ 36 ] Erdogan F, Wu BH. The Surface Crack Problem for a Plate with Functionally Graded Properties. ASME Journal of Applied Mechanics, 1997, 64: 449 ~ 614

# 贝叶斯网络理论及其在设备故障诊断中的应用

李俭川 胡莨庆 秦国军 温熙森



李俭川 博士研究生

**摘要:** 在分析机电设备故障诊断技术中广泛存在的不确定性和复杂关联关系的基础上, 指出目前的故障诊断方法在处理不确定性和关联性问题时存在的局限性, 提出了应用基于概率理论和图论的贝叶斯网络作为设备故障诊断模型具有很好前景的观点。阐述了贝叶斯网络的提出与发展、模型数学描述及研究现状, 讨论了贝叶斯网络在故障诊断领域应用的可能方式及其应用情况。指出贝叶斯网络技术 在故障诊断领域中的应用将进一步得到推广, 提出了将贝叶斯网络广泛应用到故障诊断领域中需要解决的关键技术。

**关键词:** 故障诊断; 贝叶斯网络; 不确定性推理; 概率理论; 图论

**中图分类号:** TP206; TP11 **文献标识码:** A

在设备故障诊断领域中, 不确定性问题占多数, 这主要是由诊断对象的复杂性、测试手段的局限性、知识的不精确决定的<sup>[1]</sup>。尤其是大型复杂的机电设备, 其构件之间及构件内部都存在很多错综复杂、关联耦合的相互关系, 不确定因素及不确定信息充斥其间, 其故障可能是多故障、关联故障等复杂形式。面对具有不确定性(包括不完整性)的信息, 如何尽快定位故障是一个棘手的问题。

目前, 表达不确定性问题的方法主要是模糊逻辑和概率论方法, 如 Bayes 方法、确定性理论、证据理论、可能性理论等。这些不确定推理方法都有其优缺点, 需要根据不同的实际问题选用。

基于概率推理的贝叶斯网络(Bayesian Network)是为解决不确定性、不完整性问题而提出的, 它对于解决复杂设备不确定性和关联性引起的故障有很大的优势, 在多个领域中获得了广泛关注<sup>[1, 2]</sup>。

## 1 贝叶斯网络

贝叶斯网络又称为信度网络(belief networks), 是 Bayes 方法的扩展, 目前不确定知识

表达和推理领域最有效的理论模型之一<sup>[1]</sup>。从 1988 年由 Pearl 提出后, 已经成为近十几年来研究的热点。贝叶斯网络是一种基于网络结构的有向图解描述, 是人工智能、概率理论、图论、决策分析相结合的产物, 适用于表达和分析不确定性和概率性的事物, 应用于有条件地依赖多种控制因素的决策, 可以从不完全、不精确或不确定的知识或信息中做出推理。

### 1.1 贝叶斯网络的提出与发展

1988 年, Pearl 在总结并发展前人工作的基础上, 提出了贝叶斯网络<sup>[3, 4]</sup>。20 世纪 90 年代, 有效的推理和学习算法大大推动了贝叶斯网络的发展和 应用, 首先在专家系统得到了广泛的应用。随着可以商业应用的贝叶斯网络分析软件的产生, 贝叶斯网络得到了推广, 在很多领域取得了广泛的应用, 成为概率知识表达的最强有力的工具之一<sup>[5]</sup>。

### 1.2 贝叶斯网络的数学描述

贝叶斯网络是基于概率推理的数学模型, 所谓概率推理, 就是通过一些变量的信息来获得其它变量的概率信息的过程。

假定有随机变量集合  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_k\}$ ,  $v_i$  表示  $V_i$  的取值。表达式  $p(V_1 = v_1, V_2 = v_2, \dots, V_k$

收稿日期: 2002—04—19

[ 37 ] 李俭川, 胡莨庆, 秦国军. 贝叶斯网络在设备故障诊断中的应用[J]. 中国机械工程, 2000(4): 38 ~ 46

[ 38 ] 李俭川, 胡莨庆, 秦国军. 贝叶斯网络在设备故障诊断中的应用[J]. 中国机械工程, 2000(4): 38 ~ 46

(4): 17 ~ 25

(编辑 晓舟)

作者简介: 张卫民, 男, 1964 年生。北京理工大学(北京市 100081)机械与车辆工程学院副教授、博士后研究人员。研究方向为机械加工过程监控检测技术、机械设备的无损检测及状态评价技术等。发表论文 20 余篇。董韶平, 男, 1973 年生。北京理工大学机械与车辆工程学院硕士研究生。张之敬, 男, 1951 年生。北京理工大学机械与车辆工程学院教授、博士研究生导师。

satisfied both of disturbance alleviation and robust stability is obtained. The simulation results of EPAS system utilizing the designed controller show that the specified performance's requirement of the system is satisfied. Compared with the classical Lead-Lag controller, this controller has better robust performance.

**Key words:** EPAS robust control mixed sensitivity robust performance

#### Analysis of Third Party Logistics Modeling Based on Multi-agent

Wang Ying (Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China) Sun Linyan Sang Dayong p 877-880

**Abstract:** In supply chain, the third party logistics (3PL) takes charge of the logistics design, delivery, storage and transportation with its professional and complete value-added services. Beginning with an analysis of the relationships between the 3PL and other supply chain members, the authors suggest that only when the 3PL reengineers its logistics business process to accommodate the customers then it could maximize the value of the customer. Finally, 5 intelligent agents, including order management agent, logistics process reengineering agent, resource scheduling agent, dynamic union management agent and simulating & evaluating agent are designed to form an e-commerce based 3PL system, and with the collaboration of the 5 agents, a virtual private logistics teamwork could be constructed, which is suitable for a certain customer need and furthermore, the win-win between the customer and the logistics service vendor is realized.

**Key words:** third party logistics (3PL) business process reengineering intelligent agent multi-agent

#### Performance Measuring Indicators of Supply Chains

Li Qunming (Zhejiang University, Hangzhou, China) Song Guoning Zhang Shilian p 881-884

**Abstract:** In this paper the methods for measuring the performance of supply chains are compared, the requirements on how to select the performance indicators are proposed, and a new analysis method on measuring the performance of supply chains is presented, a complete performance indicator system for measuring supply chain, including four types: input, output, resource and flexibility is established. The paper presents four kind of flexibilities: distribution, delivery, production and design flexibility, and describes their computation algorithms. The paper also discusses the tactics on how to choose and apply the performance indicators. A complete performance evaluation system is helpful for the modeling, design, analysis, evaluation and improvement of supply chains.

**Key words:** supply chain performance evaluation indicator system flexibility measuring

#### Relationship between the Development of Logistic Industry and the Improvement of National Economy in China

Li li (Nankai University, Tianjin, China) Zhang Jianhua Zhou Haiyan p 884-887

**Abstract:** On the basis of logical deduction and analysis on real data, we try to verify the relationship between the development of logistic industry and the improvement of national economy in China. Three basic indexes are selected, i.e. GDP, the total cost of logistic industry and the added value of logistic industry, and two compound indexes are established, including the total cost of logistic industry compared with the GDP of China and the added

value of logistic industry compared with the GDP. Then one general model is set up using traditional least squares regression method, following which three detailed models, trend model of development of freight, correlative model between freight quantity and GDP, correlative model between logistic cost and GDP are obtained. As a sample, we use five year's statistical data of Tianjin to get some support to prove our deduction.

**Key words:** logistic industry logistic cost added value of logistic industry GDP

#### Research on Mechanical Emergency System

Zhang Bao (Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning, China) Teng Hongfei p 888-891

**Abstract:** Research on mechanical emergency system plays an important role in reducing the ruinous effects caused by paroxysmal disasters, but few literatures are available on this topic presently, which includes emergency control, emergency decision-making and emergency design system. This paper surveyed researches and applications on mechanical emergency system and given the definition of emergency design. Due to relatively weakness and lag of mechanical emergency system research, we should pay more attention to it and accelerate its development, especially for emergency design.

**Key words:** machinery emergency system decision making design

#### State-of-the-Art of Metal Magnetic Memory Testing Technique

Zhang Weimin (Beijing Institute of Technology, Beijing, China) Dong Shaoping Zhang Zhijing p 892-896

**Abstract:** Metal magnetic memory testing technique is a new technique in the field of non-destructive testing, which is very suitable for the diagnosis before ferromagnetic parts failure, and has great potential in the estimation of fatigue intensity and life especially. This paper introduces the conception of metal magnetic memory and the state-of-the-art-of the testing technique at home and abroad, and presents the features and development. It also summarizes the current progresses in research on the field of magnetic memory.

**Key words:** metal magnetic memory non-destructive testing ferromagnetic material stress concentration

#### Bayesian Network and Its Applications for Device Fault Diagnosis

Li Jianchuan (National University of Defense Technology, Changsha, China) Hu Niaoqing Qin Guojun Wen Xisen p 896-900

**Abstract:** In this paper uncertainty and complex coupling widely existed in device fault diagnosis are firstly analyzed, and the limitations of current methods to handle uncertainty and coupling are pointed out. The Bayesian network model based on probability theory and graph theory is set forth with its nice features. Then the history and mathematical basis of Bayesian network are introduced, and the current research tasks are discussed. The application modes are depicted with many examples for fault diagnosis. At last it is suggested that Bayesian network can be used more widely in fault diagnosis, and several important techniques for Bayesian network general applications in this field are provided.

**Key words:** fault diagnosis Bayesian network uncertainty reasoning probability theory graph theory