

科技部社会公益研究专项资金项目资助

钢管漏磁高速检测 技术与系统

何辅云 张海燕 丁克勤 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书主要研究漏磁高速检测原理,漏磁检测分析、研究方法,重点研究对铁磁性钢管的检测方法、系统的组成、各部分的作用和工作流程,同时研究了检测系统应该具备的性能指标以及这些指标的测试内容和测试方法。本书在作者长期对漏磁检测方法、装置和检测系统的研究、开发和大量实际应用的基础上,充分考虑了操作、维护人员的知识结构和专业研究人员的要求,既有一定的篇幅进行理论、机理和分析方法的研究,更注重避免大量的理论推导和繁琐的数学论证,对检测系统的组成、作用 and 操作方法进行通俗易懂的叙述。本书可以作为漏磁检测方法和检测系统的专业教材,也可以作漏磁检测人员资质培训与考核的参考教材,还可以供大专院校无损检测与电子信息等相关专业作参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

钢管漏磁高速检测技术与系统/何辅云,张海燕,丁克勤著.
—北京:机械工业出版社,2009.8
ISBN 978-7-111-27706-4

I. 钢… II. ①何…②张…③丁… III. 钢管—磁性检验
IV. TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 118456 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:张俊红 版式设计:张世琴 责任校对:闫玥红
封面设计:马精明 责任印制:杨 曦
保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm·12 印张·215 千字
0001—3000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-27706-4
定价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379764
封面无防伪标均为盗版

前 言

高速无损检测技术在现代化大工业生产中发挥着越来越大的作用。高速无损检测是在不损坏被检测物体内部结构的情况下,应用综合科学的方法,迅速探测物体内部的物理性能、状态特性及内部结构,检测物质内部是否存在不连续性,迅速判断被检测物体是否符合标准,同时评价其适用性和安全性的技术。高速无损检测的目的在于:迅速定量掌握大量构件内是否存在缺陷和缺陷参数对构件强度的损坏关系,评价它们应用在工业系统中的可靠性、安全性,并反馈到改进生产工艺过程中,以便消除构件内存在的缺陷。

高速无损检测学科涉及声学、光学、电磁学、原子物理学以及机械设计、计算机、电子信息等学科,在冶金、机械、石油、化工、航空、航天等各个领域有非常广泛的应用。在现代科学技术应用领域中,高速无损检测具有广泛的科学基础和应用领域。

随着现代化建设事业的迫切需要,新的无损检测技术不断涌现。以新材料、精密加工技术、新型传感器技术、信息科学、数字信号处理、计算机技术为代表的新技术互相交融,极大地促进了高速、智能无损检测技术和可视化无损检测过程的快速发展。

高速无损检测技术需要将先进的高速检测技术、完善的检测系统与有资质的专业人员进行最完美的结合。对高速无损检测仪器和系统的操作技术娴熟与否,很大程度上决定着检测结果的准确性、可靠性。这种技术不仅表现在专业技术人员对仪器、设备的具体操作上,而且表现在能熟练掌握检测系统的机械运动状态、自动化控制状态转换、计算机处理系统的运行程序等,因此高速无损检测是一门综合技术科学。它要求检测系统操作人员具有系统的知识结构、熟练的操作技巧、敏捷的思考与判断能力、极高的事业心与责任感。高速无损检测凝聚着现代科学的智慧,闪耀着现代文化的光辉。在人类进入辉煌的 21 世纪的今天,我们应该以更高的视角来看待、研究高速无损检测技术。

漏磁高速无损检测技术是一门结合材料磁学、传感器科学、高速数字处理技术、智能控制等技术发展起来的崭新应用技术。

漏磁高速无损检测的特点是：铁磁材料内缩缺陷在材料外表面空间形成的漏磁场与内缩缺陷宽度成反比例，缺陷宽度越小、越贴近材料近表面，缺陷漏磁通越强，当传感器沿工件表面高速扫查时，对缺陷检测特别可靠。由于对铁磁材料施加稳恒磁场，无论是内缩缺陷还是表面缺陷都能在材料表面形成缺陷漏磁场，所以漏磁检测方法对材料内、外表面和内部缺陷都具有较高的检出能力。缺陷信号是传感器对缺陷漏磁场扫查的结果，扫查速度越快，形成的缺陷信号幅度越大，信号噪声比越高。

当前，国际检测界普遍采用磁漏无损检测技术来检测铁磁性材料、工件和由它们构成的系统，已经形成了获得广泛共识的国际检测方法标准和国内检测方法标准；用于检测各种材料、工件和系统的磁漏无损检测仪器、设备纷纷投入实际使用，解决了铁磁性材料生产、工件轧制生产线、工业系统定期检查的难题。

目前，由于公开发表的磁漏无损检测技术理论、机理、方法、工艺、技术和设备方面的资料很少，为了满足我国对漏磁无损检测技术研究、设备制造和应用方面技术人员的需求，作者根据长期对漏磁无损检测技术进行研究的经验，编写了本书。

本书第1~3章在概述磁的基本知识的基础上，研究了漏磁无损检测技术基本理论和分析方法。第4章重点研究了铁磁性管道二维漏磁检测关键技术和铁磁性管道漏磁检测技术的有限元分析法。第5章全面重点地研究了钢管二维漏磁检测系统，包括对钢管的夹持定位和驱动机构、升降平台和智能控制系统，纵、横向磁化机构，钢管缺陷信号采集、处理，可视化检测设备软件设计，并给出钢管高速检测系统主要性能和指标。第6章研究了钢管二维漏磁检测系统综合性能通用技术条件。第7章研究了钢管端头检测技术与装备。第8章研究了钢管材质分选技术与装备。第9章研究了钢管漏磁检测系统安装和生产中经常遇到的若干工艺问题。

在编写过程中，我们得到国家质量监督检验检疫总局中国特种设备检测研究院相关领导和技术人员的一贯支持和具体指导；合肥齐美检测设备有限公司、合肥中大检测技术有限公司组织了关键性研究和工程实验，广大工程技术人员为我们提供了大量图片和资料；在长期的研究中，我们得到天津钢管公司庄刚、钟锡弟教授和胜利油田赖志荣、王鑫、王新永等专家的一贯指导和帮助。作者在此向各位同仁一并表示最衷心的感谢。

虽然近20年来作者长期从事磁漏无损检测技术理论、机理、方法、工

艺、技术和设备的具体研究，但也深深感到自己水平不高、功底不深，在本书的章节安排、理论推导和内容叙述等方面难免存在不妥之处，衷心希望获得同行专家的批评和指正。我们希望通过大家的帮助，使本书不断得到完善，并欢迎加入到本书的后续完善和提高工作中来。任何读者对本书若有疑问，均可通过电子邮件与我们联系：fuyunhe@sina.com。

作 者

目 录

前言

第 1 章 无损检测概述..... 1

1.1 无损检测概念..... 1

1.2 常规无损检测的主要方法..... 2

1.2.1 射线检测..... 2

1.2.2 超声波检测..... 2

1.2.3 涡流检测..... 3

1.2.4 渗透检测..... 3

1.2.5 磁粉检测..... 4

1.3 无损检测的新方法..... 4

1.4 无损检测技术的发展——

无损评估..... 6

1.5 无损检测的质量理念..... 7

1.6 无损检测可视化技术..... 7

1.7 我国无损检测的技术现状和

前景..... 8

第 2 章 磁的基本知识..... 10

2.1 磁现象与磁的基本参量..... 10

2.1.1 常见的磁现象..... 10

2.1.2 磁矩..... 11

2.1.3 磁性的起源..... 11

2.1.4 磁化强度、磁化率和

磁感应强度..... 12

2.2 磁性材料..... 15

2.2.1 磁介质及其分类..... 15

2.2.2 磁性材料..... 16

2.3 磁路和磁路定理..... 19

2.3.1 磁路的概念..... 19

2.3.2 磁路定律..... 20

2.3.3 恒定磁场的边界条件..... 23

2.3.4 磁场屏蔽原理..... 25

2.4 电磁感应..... 25

2.4.1 电生磁..... 25

2.4.2 磁生电..... 26

2.4.3 楞次定律..... 27

2.4.4 电磁感应定律..... 27

2.5 涡流电场、涡电流..... 29

2.5.1 涡流电场..... 29

2.5.2 涡电流..... 30

第 3 章 漏磁法无损检测技术..... 31

3.1 漏磁无损检测技术概述..... 31

3.2 漏磁无损检测原理..... 33

3.2.1 铁磁性材料缺陷内的

磁场强度..... 33

3.2.2 裂纹参数变化对裂纹内

磁场强度的影响..... 35

3.3 缺陷漏磁场与缺陷关系的

分析方法——解析法..... 37

3.3.1 磁荷模型的建立..... 38

3.3.2 缺陷深度与漏磁场的

关系..... 40

3.3.3 缺陷宽度与漏磁场的

关系..... 41

第 4 章 铁磁性管道二维漏磁

检测技术..... 43

4.1 铁磁性管道二维漏磁检测

技术概况..... 43

4.1.1 铁磁性管道质量检测技术的

意义..... 43

4.1.2 铁磁性管道质量检测技术

发展概况	43	5.3.1 上、下张合的夹持定位 传送装置	60
4.1.3 漏磁检测系统与传统检测 设备主要性能指标比较	44	5.3.2 超大口径钢管单轮夹持 定位传送装置	62
4.2 铁磁性管道二维漏磁检测 关键技术	44	5.4 钢管检测系统升降平台	63
4.2.1 铁磁性管道漏磁检测 方法	44	5.5 钢管磁化系统	65
4.2.2 铁磁性管道漏磁检测 方式	45	5.5.1 钢管轴向磁化方法与 装置	67
4.2.3 铁磁性管道二维磁化 技术	46	5.5.2 钢管周向磁化方法与 设备	70
4.2.4 磁敏传感器阵列	47	5.6 钢管横向缺陷信号的采集	73
4.2.5 多路缺陷信号传送技术	48	5.6.1 钢管横向缺陷信号的 采集方法	73
4.2.6 噪声抑制技术	48	5.6.2 钢管横向缺陷信号的 采集方式	75
4.2.7 多路缺陷信号的数字化 技术	49	5.6.3 钢管横向漏磁缺陷 信号采集	76
4.2.8 可视化检测技术	49	5.6.4 钢管横向缺陷信号的 预处理	79
4.2.9 管道端头缺陷的检测 技术	51	5.6.5 钢管横向探头的 吻合技术	82
4.3 铁磁性管道漏磁检测技术的 有限元分析	53	5.7 钢管纵向缺陷信号的 采集与传送	83
4.3.1 铁磁性管道磁化系统的 结构	53	5.7.1 钢管纵向漏磁缺陷信号 采集传感器	84
4.3.2 一对磁极双检测探头的 有限元分析方法	54	5.7.2 钢管纵向漏磁检测技术的 特殊性	85
4.3.3 一对磁极多检测探头的 有限元分析方法	54	5.7.3 纵向漏磁缺陷信号的 形成与预处理	86
4.3.4 两组磁极对多检测探头的 有限元分析方法	55	5.7.4 纵向漏磁缺陷信号的 传送方法	87
4.3.5 实际检测情况	56	5.7.5 钢管纵向探头的 吻合技术	90
第5章 钢管二维漏磁检测 技术与系统	57	5.8 钢管缺陷信号的主处理系统	91
5.1 钢管二维漏磁检测系统的 组成	57	5.8.1 钢管缺陷信号的 电平匹配	92
5.2 输入、输出传送线	58		
5.3 夹持定位传送装置	60		

5.8.2 钢管缺陷信号的数字化	92	7.2.2 引体思想	143
5.8.3 钢管可视化检测软件	94	7.2.3 用 ANSYS 软件建立加引体的端头检测模型	143
5.8.4 钢管缺陷信号的 DSP 系统	104	7.2.4 加引体端头缺陷检测模型分析	144
5.9 钢管二维漏磁检测系统		7.2.5 引体的磁导率对检测效果的影响	144
软件与操作	105	7.2.6 距端头不同位置处缺陷磁场模拟分析	145
5.9.1 缺陷信号与缺陷参数的判别准则	105	7.3 钢管端头纵向缺陷漏磁检测系统	147
5.9.2 缺陷信号判别软件流程	105	7.3.1 钢管端头纵向检测系统的组成	147
5.9.3 钢管二维漏磁检测系统软件界面与设置方法	107	7.3.2 钢管端头横向缺陷检测系统的组成	148
5.10 钢管漏磁高速检测系统的主要性能指标	120	7.3.3 显示图形模块	149
5.11 钢管的消磁技术原理	123	7.3.4 钢管端头检测试样的制作和检测校验	150
5.11.1 钢管的剩磁	123	第 8 章 钢管材质高速对比分选技术	152
5.11.2 钢管的交流消磁原理	123	8.1 概述	152
5.11.3 钢管的直流、交流复合消磁原理	124	8.2 光谱仪工作原理	153
第 6 章 钢管二维漏磁检测系统		8.3 钢管材质高速对比分选技术	154
综合性能通用技术条件	126	8.3.1 钢管材质高速对比分选技术原理	155
6.1 概述	126	8.3.2 钢管材质高速对比分选仪的组成	156
6.2 相关术语和定义	127	8.3.3 钢管材质高速对比分选仪的主要技术指标	158
6.2.1 钢管漏磁检测系统的组成	127	第 9 章 钢管漏磁检测	
6.2.2 钢管的缺陷和标准样管	128	若干工艺	159
6.3 对检测人员的要求	137	9.1 概述	159
6.4 钢管漏磁检测系统的测试条件	137	9.2 钢管漏磁高速检测系统的布局、设置、安装	159
6.5 测试内容及方法	138	9.2.1 钢管漏磁高速检测系统在钢管生产线中的布局	159
第 7 章 钢管端头漏磁检测			
技术	141		
7.1 概述	141		
7.2 钢管端头漏磁检测方法	142		
7.2.1 用 ANSYS 软件建立二维静态磁场检测模型	142		

9.2.2 钢管漏磁高速检测系统的 设置	164	9.4 漏磁检测系统对直焊缝、直拔 钢管的检测工艺	172
9.2.3 钢管漏磁高速检测系统的 安装	166	9.4.1 直焊缝和直拔钢管的 检测工艺	172
9.3 漏磁检测系统对斜轧钢管的 检测工艺	168	9.4.2 直焊缝和直拔钢管的 检测特点	173
9.3.1 钢管内螺纹的检测机理	168	9.5 漏磁检测系统对钢管折叠缺陷的 检测工艺	173
9.3.2 钢管内螺纹的信号特点	169	9.6 钢管壁厚的检测	174
9.3.3 钢管内螺纹的识别流程	170	9.6.1 便携式手持超声测厚仪	175
9.3.4 钢管内螺纹对检测影响的 对策	170	9.6.2 钢管全长全覆盖超声壁厚 检测系统	176
9.3.5 斜轧钢管的特定方向分布的 缺陷检测	171	参考文献	179

第 1 章 无损检测概述

1.1 无损检测概念

无损检测是建立在现代科学技术基础上的一门技术。它在不损坏被检测物体内部结构的前提下,应用物理方法,检测物体内部或表面的结构、状态和性能,检查物质内部是否存在缺陷,从而判断被检测物体是否合格,并评价其适用性。

无损检测的目的在于:定量掌握构件内缺陷与强度的关系,评价其安全性;检测各种设备或工业系统在制造、安装、使用过程中存在的不完整性及缺陷情况,以利改进这些设备、工业系统的制造工艺,提高产品质量,及时发现故障,保证它们安全、高效、可靠地运行。

无损检测学科涉及物理科学中的声学、光学、电磁学、原子物理学以及机械设计、计算机应用、电子信息工程等多门学科,在冶金、机械、石油、化工、航空、航天等各个领域广泛应用。如果没有无损检测技术,工件和设备材料质量将难于保证:设备会停止运转,飞机不能安全飞行,火箭难以上天,在路上的汽车随时会翻车,火车可能会出轨,石油和天然气管道会发生泄漏,锅炉和压力容器会发生爆炸……。所以,在现代科学技术应用领域中,无损检测技术占有不可或缺的地位。

作为现代工业的基础技术之一,无损检测技术在保证产品质量和工程质量上发挥着越来越重要的作用,其“质量卫士”的作用已得到工业界的普遍认同。无损检测就其自身性质而言,着重于科学技术的具体应用,因此它是一门应用性很强的综合性技术学科,具有很强的操作性和工艺性。

对无损检测仪器、设备操作的娴熟与否,很大程度上决定着检测结果的准确性、可靠性。这种技术不仅表现在具体的操作上(例如探头扫查运动的覆盖率、对缺陷信号的激励程度、对缺陷的提取与识别),而且表现在检测机械的运动、自动化的控制以及计算机的应用上,因此无损检测被称为综合技术学科。

随着现代化建设事业的迫切需要,新的无损检测理论、技术、方法和仪器不断涌现。以新材料、精密加工技术、新型传感器技术、信息科学、数字信号处理、计算机技术为代表的新技术相互交融,极大地促进了高速、智能无损检测技

术和可视化无损检测过程的快速发展。无损检测技术凝聚着现代科学的智慧，闪耀着现代文化的光辉。在人类进入辉煌的 21 世纪的今天，我们应该以更高的视角来研究无损检测理论和技术。

1.2 常规无损检测的主要方法

无损检测在工业生产的各个领域得到充分的应用，对工业产品和重大工程的质量控制和质量保证起到重要作用。现代工业产品和系统很多都具有高温、高压、高速、高应力等特点，只有应用无损检测技术，这些产品的质量才能得到保证，工业系统才能够长期安全运行。无损检测技术经过一个世纪的应用和发展，至 20 世纪中期，在现代化工业大生产促进下，建立了以射线检测（RT）、超声检测（UT）、磁粉检测（MT）、渗透检测（PT）和电磁检测（ET）五大常规检测方法为代表的传统无损检测体系。

1.2.1 射线检测

1895 年伦琴发现 X 射线，无损检测技术正式进入工业化大生产的实际应用领域。1900 年法国海关开始应用 X 射线检验物品。1922 年美国建立了世界上第一个工业射线实验室，用 X 射线检查铸件质量，以后 X 射线在军事工业和机械制造业等领域得到广泛的应用。射线无损检测至今仍然是许多工业产品质量控制的重要手段。

射线检测是一种利用射线的穿透性和直线性来检测缺陷的方法。射线检测对缺陷图像有直观的反应，容易判断缺陷的尺寸和性质。用计算机辅助断层扫描（CT）方法可清楚了解缺陷的断面情况，便于分析和处理；用底片记录法可作为原始的资料长期保存；用图像处理技术还可以使评定分析自动化。

1.2.2 超声波检测

1912 年超声波探测技术开始用于探查海面上的冰山，这是超声波探测技术在航海中的最早应用。1929 年超声波技术开始用于产品缺陷的检验，至今仍是锅炉压力容器、铁轨以及很多重要机械产品的重要检测手段。今天，超声波无损检测以检测灵敏度高、声束指向性好、缺陷检出率高、适用性广泛等优点在无损检测领域中占有非常重要的地位。随着计算机技术的介入，超声波成像技术日趋成熟，使得超声波检测技术向图像化、自动化方向发展。超声波检测技术在材料工程、市政工程、水利工程等方面也开始发挥越来越重要的作用。

人耳能接收的声波范围是 $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ ，而频率低于 20Hz 的声波称为次声波，高于 20kHz 的声波称为超声波。工业上常用数兆赫兹的超声波来探伤。超声波检测利用超声波频率高、直线性强、易于在固体中传播，遇到两种不同介质的界面易于反射等特点来检测材料内部的缺陷，其原理如下：探头向工件发射超声波，并接收缺陷界面反射波，将其转换成电信号传输给仪器进行处理；根据超声波在介质中的传播速度（俗称声速）和传播时间，计算后就能知道缺陷的位置；缺陷越大、反射面越大，反射的能量也越大，则根据反射能量的大小即可查知各缺陷（当量）的大小。

1.2.3 涡流检测

电磁感应定律和涡流电荷集肤效应的发现，促进了现代导电材料涡流检测方法的产生。1935年，世界上第一台涡流探测仪器研究成功。20世纪50年代初，德国科学家霍斯特发表一系列有关电磁感应的论文，开创了现代涡流检测的新时代。

在一根导体外面绕上线圈，当线圈通过交流电流时，线圈就产生交变磁场。由于导体在圆周方向可以等效成一圈圈的闭合回路，所以在导体的圆周方向会产生感生电流，电流的方向沿导体的圆周方向旋转，就像一圈圈的漩涡，这种情况下产生的感生电流被称为涡流。涡流通过导体的缺陷位置处时，缺陷会引起涡流变化，从而在检测传感器中引起感生电流的变化。

由于集肤效应的存在，涡流检测只能发现导电材料表面和近表面的缺陷。但是，涡流检测操作简单、不需要耦合剂、易于实现高速自动化检测，因此在金属材料及其零部件尤其是管、棒、线材等新型材料的无损检测中应用最广。目前应用较多的有多频涡流检测技术、深层涡流检测技术、脉冲涡流检测技术以及远场涡流检测技术等。远场涡流检测技术是最近几年发展起来的涡流检测新技术。它使用一个激励线圈和一个较小的接收线圈，两者同时置于被检材料、工件中，由于它们之间相距较远，造成接收线圈所接收到的磁场几乎完全是穿过工件后的磁场，则从接收到的磁场幅度和相位的变化就可以断定检测线圈所检测区域中的缺陷情况。

1.2.4 渗透检测

渗透检测原理如图 1-1 所示。利用液体的毛细管作用，将渗透液渗入固体材料表面开口缺陷处，再通过显像剂将渗入的渗透液吸出到材料表面以显示缺陷的存在。这种无损检测方法称为渗透检测。

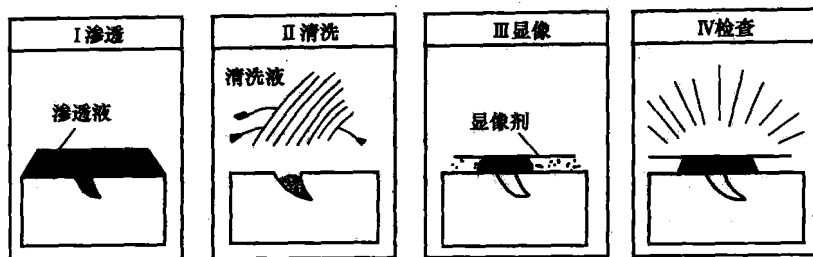


图 1-1 渗透检测

1.2.5 磁粉检测

磁粉检测是利用磁和合适介质发现试件表面与近表面的不连续性的一种无损检测方法。在开放磁场的作用下，若工件表面存在缺陷，则工件表面的磁场分布会发生变化，由于缺陷（例如空气）的磁阻远远大于工件磁阻，磁力线会绕过缺陷，从而使缺陷表面磁通密度发生变化。从而可利用磁粉的聚集来显示铁磁性材料及其工件表面与近表面的缺陷，或利用磁敏元件将磁通密度的变化转换成电压的变化，通过对电压信号的识别来实现工件表面缺陷的检测。绕过缺陷的磁力线同缺陷参数成正比，其强度与分布均取决于缺陷的尺寸、位置以及对工件的磁化强度等，绕过缺陷的磁力线越多，缺陷部位越容易吸附磁粉。利用该方法可以直接显示出缺陷的形状、大小和位置，并能基本确定缺陷的性质。

磁粉检测只局限于能被显著磁化的铁磁性材料。进行磁粉检测需要将被检工件磁化，在磁化的过程中，需尽量使工件内的磁力线与缺陷表面正交，获得尽可能强的缺陷漏磁场。

1.3 无损检测的新方法

近年来，随着复合材料的应用不断增长，对检测的要求也不断提高，上述常规方法不再满足需求，于是产生了各种无损检测新方法，比如：

1. 声振检测方法

声振检测方法，即激励被测工件产生机械振动，通过测量被测工件振动特征来判定其缺陷的情况。

2. 微波无损检测

由于微波能够贯穿介电材料，于是微波无损检测方法应运而生。微波检测就是研究微波反射、投射、衍射、干涉、腔体微扰等物理特性的改变，以及微波作

用于被检测材料时,其电磁特性——介电常数的损耗正切角的相对变化,通过测量微波基本参数(微波幅度、频率、相位)的变化,来判断被测材料或物体内部是否存在缺陷。

3. 红外线无损检测

红外线无损检测是利用红外物理理论,把红外辐射特性的分析技术和方法应用于无损检测领域。该方法利用材料或工程构件运行中热状态的变化和异常过热现象,确定被测对象的工作状态,判断其结构有无缺陷。

4. 激光全息检测

激光全息检测是利用激光全息照相来检测物体表面和内部缺陷。因为物体在受到外界载荷作用下会产生变形,这种变形与物体是否有缺陷直接相关。在不同的外界载荷作用下,物体表面变形的程度是不同的。激光全息照相就是将物体表面和内部的缺陷,通过外界加载的方法,使其在相应的物体表面造成局部的形变,用全息照相来观察和比较这种变形,并记录在不同外界载荷作用下物体表面的变形情况,经过观察和分析,判断物体内部是否存在缺陷。

5. 漏磁无损检测

漏磁检测技术(Magnetic Flux Leakage Testing, MLT),是指铁磁性材料被外磁场磁化后,材料内、外表面和内部的缺陷会在材料表面形成漏磁场,通过传感器扫查材料表面,将表面缺陷漏磁场转化为缺陷信号来判断缺陷位置和参数的一种无损检测技术。

漏磁无损检测通过检测被磁化的铁磁性材料表面溢出的漏磁通,来判断材料内是否有缺陷存在。由于铁磁性材料的磁导率大于其他介质的磁导率,所以大部分磁通都会从铁磁性材料内部通过。如果铁磁性材料的表面光滑、内部均匀致密、无裂纹、无夹杂物,则在材料被磁化后,材料内部各处的磁参数相同,磁力线全部通过内部均匀致密的铁磁性材料。如果材料内外表面或内部存在缺陷,则材料的缺陷处磁阻增大,使得磁路中的磁通相应发生畸变:一部分磁通穿过缺陷;另外一部分磁通绕过缺陷,通过周围的铁磁性材料;还有一部分磁通会泄漏在铁磁性材料外表面,绕过缺陷再重新进入材料。这部分溢出部分畸变磁通我们称之为漏磁通。

缺陷在铁磁性材料外表面空间形成的漏磁场与缺陷宽度成反比,缺陷宽度越小、越贴近材料近表面,则缺陷漏磁通量越大。

漏磁检测的首要条件是使用稳压直流磁化方法对铁磁性材料进行充分磁化,当材料内外表面或者材料内部存在缺陷时,缺陷截面的导磁能力比正常截面的导磁能力小,根据磁力线连续原理和磁屏蔽原理,缺陷部位磁力线不能汇聚在材料

内部,必须向外膨胀,这部分膨胀的磁力线的其中一部分泄漏到工件表面,通过传感器贴合工件表面高速扫查,可以被探测到。所以漏磁检测的最显著特点就是对材料的内、外表面缺陷和内部缺陷都具有较高的检出能力。

分段式磁敏传感器群拾取垂直于材料表面的缺陷漏磁通分量,将其转化为缺陷信号。当检测速度增大时,信号幅度增大,缺陷信号变得更加尖锐。所以漏磁检测方法是一种高速的检测方法,检测速度越快,获得的缺陷信号信噪比越高,检测效果越好。目前,国际检测界普遍采用漏磁无损检测技术检测铁磁性管道。

在漏磁检测技术的基础上又出现了金属磁记忆检测技术,它能有效地应用于在役设备早期损伤检测。其基本原理是:铁磁性材料如果出现缺陷或在缺陷形成之前,某微小区域的变化在地球磁场的作用,会引起磁场变化,这就是所谓的磁记忆特性。由于设备构件自身的遗传性,即在生产制造过程中形成的微观缺陷以及在后来运行中负荷应力的存在,金属的磁记忆以累积的方式表现出来,运行中构件负荷作用力的大小和方向的变化会引起磁量值和方向的变化,对金属构件表面漏磁场进行扫描检测,便可确定应力集中的区域,从而间接地判断该铁磁性构件存在缺陷的可能性。金属磁记忆方法不需要对设备表面进行预处理,它能够快速准确地对设备进行诊断,从而达到早期预警设备疲劳损伤,便于及时控制的目的。

1.4 无损检测技术的发展——无损评估

随着现代科学技术的不断发展,各学科间相互渗透,新的无损检测技术不断涌现,新的无损检测方法层出不穷,一套较为完整的无损检测体系已存在于工业化生产的各个领域。

目前无损检测技术正向无损评估方向发展。无损检测以检出缺陷为目的,如果有超标缺陷,一般由检测人员决定如何处理。处理方法应取决于对缺陷进行有效的评估,因此无损评估在无损检测的基础上应运而生。

无损评估的基本做法是:

- 1) 对材料(构件)进行应力分析,根据构件承受的载荷,计算和测定构件有缺陷部位的应力;
- 2) 测定或估算缺陷的部位和残余应力;
- 3) 确定材料的断裂强度;
- 4) 进行定量的无损检测;
- 5) 进行断裂力学计算,判断缺陷的危险程度,最后对缺陷的去留作评定。

无损检测评估的出现将促进无损检测向更高层次发展。

1.5 无损检测的质量理念

无损检测技术在工业化大生产中的作用主要表现在对重要产品或构件的质量控制和质量保证。随着科学技术的迅猛发展和全球经济一体化时代的到来, 市场经济的竞争将变得更加激烈, 而竞争的焦点是科技与质量。无损检测自诞生之日起就与质量结下不解之缘, 无损检测是现代工业生产中质量控制和质量保证的重要方法。

国际著名质量管理学家朱兰博士曾经指出: “如果说 20 世纪是生产力的世纪, 那么 21 世纪就是质量的世纪, 质量将成为新世纪的主题。” 当今社会, 质量竞争已经逐渐取代价格的竞争。质量已不再是一种奢侈品, 追求完美的质量是永恒的主题。在现代化大生产中, 谁掌握了高超的无损检测技术, 谁就占据了质量的高点, 就能在激烈的竞争中立于不败之地。无损检测以它坚实的理论基础和精湛的技艺, 忠实地履行着“质量卫士”的职责。

1.6 无损检测可视化技术

20 世纪后期, 科学技术的飞速发展促使无损检测技术飞速发展。以新材料、机器人、精密加工技术、新型传感器技术、信息科学、通信技术、数字信号处理技术、计算机图像处理技术为代表的新技术互相交融, 极大地促进了智能无损检测技术和无损检测过程可视化技术的快速发展。

工业 CT 技术的出现, 使射线检测不断拓宽其应用领域。虽然传统的射线胶片照相检测技术在检测灵敏度、图像清晰度等方面已日臻完美, 然而射线检测引进计算机数字图像处理技术后, 得到的数字处理图像质量可以与胶片图像质量相媲美。 γ 射线的应用和高能加速器的出现, 增大了射线的检测厚度, 使原来不易被低能射线穿透构件的检测变为可能, 例如海关可以对集装箱物品进行可视化检验。

超声成像技术异军突起, 使超声检测技术向可视化数字成像方向发展。超声可视化检测在复合材料和非金属材料以及市政工程(例如城市供水、供气管网的核查)、水利工程(例如水库大坝蚁穴的检查)领域发挥重要作用。超声检测技术配以机器人能将在在线管道运输网内部的各点质量图像清晰地展示在计算机显示屏上。

涡流检测正向着可视化数字成像、自动检测和远场检测的方向发展。

随着纳米技术的发展,纳米材料制成的可视化图像采集器件比现在的图像增强器体积更小,容量更大,分辨率更高,图像更加清晰。可以预想,纳米技术将会进一步推动可视化检测技术的发展。

1.7 我国无损检测的技术现状和前景

今天,随着我国现代化建设事业的迅猛发展,无损检测理论研究和技术应用获得相应的进展。无损检测技术在保证产品质量和工程质量上,在国家重大工程安全运行和系统寿命评估方面发挥着越来越重要的作用。我国相继建立若干重点机构研究无损检测新技术、新方法、新理论,制定不同行业的无损检测规范、行业标准和国家标准。但是我国无损检测理论研究和技術应用的进展与现代化建设事业的迅猛发展局面是不相适应的,还落后于国家建设和市场需求。

我国许多重要企业普遍缺少必要的检测技术、检测设备和合格的检测人员,缺少对原材料、半成品以至产品进行必要的检测,这样既加大了生产成本,又不能可靠保证产品的质量;我国无损检测生产厂家主要生产传统的无损检测仪器和设备,不能满足现代工业产品高温、高压、高速、高应力特点对无损检测设备的要求;许多行业,还无法严格执行无损检测规范、行业标准和国家标准;企业缺少高级无损检测的专业人才,造成部分企业花费巨资引进的无损检测设备、资料不能系统消化、设备不能正常操作、功能不能技术维护。不少企业购置设备只为应付行业认证,却无法保证企业的产品质量。

我国无损检测理论和技术的教育水平与国际先进水平相比存在一定的差距,中等技术学校和高等院校鲜有设置无损检测的专业课程,造成无损检测领域的专业技术人才严重缺乏,多数人是“半路出家”从事无损检测事业的。在我国,很多企业只注重产品的产量,忽略产品质量的检测手段,对无损检测的概念缺乏正确的理解,普遍将无损检测理解为传统的、简单的劳动。相关管理部门只注重国家标准、行业标准的制定,而忽略了对企业产品质量检测制度的监督。

现在,我们必须清醒地认识到:21世纪是质量的世纪,质量将成为新世纪的主题。在现代化大生产中,谁掌握了高超的无损检测技术,谁就能在激烈的竞争中立于不败之地。我们应该高度关注国际无损检测技术的最新发展,加强引进、消化、吸收国外先进的无损检测技术,并着力消化再创新,更要集中力量进行原创的无损检测技术研究开发与开发。

众所周知,无损检测技术是一门发展速度很快的综合工程学科,无损检测技