

漏磁检测

leoucijiance

刘卓然 著



中国科学技术出版社

漏 磁 检 测

刘卓然 著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

漏磁检测/刘卓然著. —北京: 中国科学技术出版社, 2007. 7

ISBN 978 - 7 - 5046 - 4738 - 2

I. 漏... II. 刘... III. 磁性检验 IV. TG115.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007⁰) 第 103661 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志, 未贴防伪标志的为盗版图书。

责任编辑 马 妍

责任校对 赵丽英

封面设计 刘茗茗

责任印制 安利平

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

电话: 010 - 62103210 传真: 010 - 62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京长宁印刷有限公司印刷

*

开本: 850 毫米 × 1168 毫米 1/32 印张: 6 字数: 136 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1 - 500 册 定价: 30.00 元

ISBN 978 - 7 - 5046 - 4738 - 2/TB · 74

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、
脱页者, 本社发行部负责调换)

前 言

漏磁检测是无损检测方法中的一种。它是近一二十年兴起的一项自动化程度较高的电磁无损检测技术，适用于铁磁性材料的缺陷检查，目前正被越来越多地应用在钢铁、石油、压力容器、管道、钢丝绳、铁路等行业。然而，漏磁检测作为无损检测技术领域中的一个重要组成部分，目前国内尚缺一本全面、系统地介绍其原理、方法、工艺和规范的专业书籍，这与该项技术快速发展和普及应用的现状是不相符合的。

漏磁检测技术及其设备是从20世纪80年代中期开始引进国内的。自从它进入中国工业市场以后，对于提高国内的无损检测技术水平，满足实际检测需要，特别是满足冶金和石油行业快速、高效的检测需要，发挥了重要的和不可替代的作用。当前，国内的漏磁检测技术与设备的研发和制造处于快速发展之中。过去，不论在引进和消化国外进口设备，还是在培训漏磁检测专业人员的过程中，往往是参照、有时甚至是套用其他相近的无损检测技术（如涡流检测或磁粉检测等）的原理、方法、工艺和规范。漏磁检测有其自身的特点，当应用到实际检验时，更有一整套独立的技术规范和技术准则

要求。所以，如何了解、掌握和正确运用好这一门技术，是摆在无损检测技术人员以及从事漏磁检测专业人员面前的课题。好在这几年国内外介绍漏磁检测技术及其发展的论文和文献越来越多，对它的了解和认识也越来越清晰。

笔者多年来从事无损检测技术及其培训工作。本书是根据作者从事漏磁检测的实践和感受，经几年的时间编写而成。本书较为系统地介绍了漏磁检测技术的原理和方法，为了便于读者深入浅出地理解，尽量避免繁冗的理论和数学推导。同时，重点介绍了漏磁检测技术的应用，特别是在冶金和石油行业的应用及其特点。本书力图简明扼要、通俗易懂，使之能够成为一部从事漏磁检测专业人员的入门指导书。本书可作为从事漏磁检测技术专业初级、中级人员的培训教材，也可供其他从事无损检测专业的技术人员参考。

本书在编写过程中，参考了大量的国内外相关的教材、著作、标准和文献资料。在此向有关的作者、编者和译者表示衷心的感谢。

限于著者的理论水平和实践经验，疏漏谬误之处在所难免，敬祈同行、专家和读者惠予纠正。

著 者

2006年3月于天津

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 无损检测基础知识	(1)
1.2 漏磁检测技术发展概述	(3)
1.2.1 缺陷漏磁场理论模型及其数值表征	(3)
1.2.2 漏磁场信号与缺陷特征之间的对应 关系	(4)
1.2.3 漏磁检测仪器	(5)
1.2.4 漏磁检测标准	(5)
1.3 漏磁检测的特点	(6)
1.3.1 漏磁检测的优点	(6)
1.3.2 漏磁检测的缺点	(7)
2 漏磁检测基础知识	(8)
2.1 磁场的基本概念	(8)
2.1.1 磁性、磁体、磁极	(8)
2.1.2 磁场	(8)
2.1.3 磁感应线	(9)
2.1.4 磁场强度	(9)
2.1.5 磁感应强度	(10)
2.1.6 磁导率	(10)

2.1.7	磁通量	(11)
2.2	电磁感应定律	(13)
2.2.1	楞次定律与右手定则	(13)
2.2.2	法拉第电磁感应定律	(14)
2.3	磁介质	(14)
2.3.1	磁介质分类	(14)
2.3.2	磁畴及其磁化	(15)
2.3.3	初始磁化曲线	(17)
2.3.4	磁滞回线	(19)
2.3.5	磁导率曲线	(21)
3	漏磁检测基本原理	(23)
3.1	漏磁场	(23)
3.1.1	漏磁场的形成	(23)
3.1.2	缺陷磁场的分布	(24)
3.2	漏磁检测的磁化方法	(26)
3.2.1	磁场方向与检出缺陷的关系	(26)
3.2.2	磁化方法的选择	(26)
3.2.3	磁化方法的分类	(27)
3.2.4	磁化场强度的选择	(28)
3.3	漏磁探伤的磁化技术	(29)
3.3.1	局部磁化和整体磁化	(29)
3.3.2	直流磁化和交流磁化	(30)
3.3.3	复合磁化与综合磁化	(32)
3.3.4	对于不同表面状态工件的磁化	(33)

3.4	缺陷的漏磁场	(35)
3.4.1	缺陷漏磁场的实验测量	(35)
3.4.2	缺陷漏磁场的理论计算	(36)
3.4.3	各种因素对缺陷漏磁场的影响	(39)
3.5	影响缺陷漏磁场的其他因素	(43)
3.5.1	磁化场强度的影响	(43)
3.5.2	工件表面状况的影响	(43)
3.5.3	工件材质和加工处理状态的影响	(43)
4	漏磁检测传感器	(46)
4.1	漏磁检测传感器的技术要求	(46)
4.2	漏磁检测传感器的种类	(47)
4.2.1	检测线圈	(47)
4.2.2	霍尔元件	(48)
4.2.3	磁敏二极管	(50)
4.2.4	磁录像	(51)
4.2.5	磁探头	(53)
4.3	漏磁检测信号的分析 and 处理	(54)
4.4	漏磁检测信号的量化	(57)
4.4.1	裂纹宽度的量化	(57)
4.4.2	裂纹深度的量化	(59)
5	钢管的自动漏磁探伤	(64)
5.1	钢管的漏磁探伤理论	(64)
5.1.1	钢管漏磁探伤技术概述	(64)
5.1.2	钢管漏磁探伤影响因素的分析	(66)

5.2	钢管的自动漏磁探伤装置	(72)
5.2.1	漏磁传感器及钢管传输方式	(72)
5.2.2	横向探伤设备	(73)
5.2.3	纵向探伤设备	(74)
5.3	钢管的自动漏磁探伤方法	(76)
5.3.1	漏磁探伤前的准备工作	(76)
5.3.2	漏磁探伤前各参数的设定和调整	(78)
5.3.3	钢管自动漏磁探伤过程	(80)
5.3.4	退磁处理	(85)
5.3.5	检验结果的再检验	(87)
5.3.6	探伤判定	(88)
5.4	钢管自动漏磁探设备的性能评价	(89)
5.4.1	信噪比	(90)
5.4.2	周向灵敏度差	(91)
5.4.3	漏、误报率	(91)
5.4.4	管端不可探区	(92)
5.4.5	稳定性	(93)
5.5	内外缺陷之间的区别	(93)
5.5.1	区别内外缺陷的原理	(94)
5.5.2	焊缝缺陷	(95)
5.6	探头的差动和绝对连接方式操作	(96)
5.7	探头长度	(99)
5.8	标准人工缺陷长度	(101)
6	漏磁探伤标准	(104)
6.1	标准的概念	(104)

6.2	国外漏磁探伤标准简介	(106)
6.2.1	钻杆	(106)
6.2.2	锅炉和压力容器用钢管	(107)
6.2.3	油井套管和油管	(111)
6.3	美国材料试验协会标准 ASTM E 570 《铁磁性钢管的漏磁检验标准方法》	(112)
6.3.1	适用范围	(112)
6.3.2	检测方法	(113)
6.3.3	纵向缺陷的检测	(113)
6.3.4	横向缺陷的检验	(119)
6.4	国标 GB/T12606《钢管漏磁探伤方法》	(120)
6.4.1	范围	(120)
6.4.2	探伤原理	(120)
6.4.3	探伤设备	(121)
6.4.4	探伤方式	(122)
6.4.5	对比试样及刻槽尺寸	(124)
6.4.6	探伤步骤	(126)
6.4.7	探伤判定	(127)
7	漏磁探伤的其他应用	(129)
7.1	铸铁件的漏磁检测	(129)
7.1.1	铸铁件漏磁检测方法	(129)
7.1.2	铸铁件漏磁检测的信号处理	(130)
7.2	钢丝的漏磁检测	(131)
7.3	矿用圆环链的漏磁探伤	(133)

7.4 管道弯头的漏磁检测	(135)
7.4.1 管道弯头的漏磁检测方法	(136)
7.4.2 管道弯头的漏磁检测系统	(137)
7.5 储罐底板的漏磁检测	(138)
7.5.1 罐底板的漏磁检测方法	(138)
7.5.2 罐底板的漏磁检测装置	(139)
7.5.3 罐底板漏磁检测的信号处理	(140)
7.6 在役管道的漏磁检测	(141)
7.6.1 管道漏磁检测的原理和装置	(142)
7.6.2 管道漏磁检测的特点	(144)
习题	(146)
一、判断题	(146)
二、选择题	(152)
三、问答题	(177)
习题答案	(178)
一、判断题答案	(178)
二、选择题答案	(178)
三、问答题答案(略)	(179)
参考文献	(180)

1 绪 论

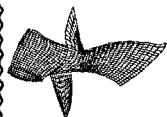
1.1 无损检测基础知识

无损检测是一门新兴的、多学科综合应用的、理论与实践紧密结合的技术，它在理论性、系统性和工艺等方面都有较高的要求。无损检测包括了诸如物理学、材料学、电子技术、测量技术和信息技术等多方面内容。

无损检测是在不破坏、不损伤被检对象的前提下测定和评价物件内部或表面的物理和力学性能，包括各类缺陷和其他技术参数的综合性应用技术。无损检测对于控制和改进生产过程和产品质量，保证材料、零件和产品的可靠性及提高生产率起着至关重要的作用，是发展现代工业必不可少的重要技术之一。

现代的无损检测技术不仅可检测出缺陷的有无，还可给出被检测对象的质量评价。可以说，无损检测与评价技术的发展程度标志着一个国家（地区）的现代化工业水平。

随着科技的进步，传统的无损检测现在已经拓展为三方面的技术。



(1) 无损检查技术 NDI (Non - Destructive Inspection)。无损检查技术以检查结果为判定基础,对检测对象的使用的可能性进行判定。主要用于产品的最终检验,在不破坏产品的前提下,发现零件中的缺陷(含人肉眼观察、耳听诊断等),以满足工程设计对零部件的强度和设计要求。

(2) 无损检测技术 NDT (Non - Destructive Testing)。无损检测技术是利用物质的某些物理性质因存在缺陷或组织上的差异而使其物理量发生变化的现象,在不使被检物使用性能及形态受到损伤的前提下,通过测量这些变化来了解和评价材料、产品和设备构件的性质、状态或内部结构等的一些特殊的检测技术。

(3) 无损评价技术 NDE (Non - Destructive Evaluation)。无损评价技术不仅仅局限于简单的测试,还涉及掌握检测对象的负载条件、环境条件下材料的物理性质研究,在对产品的设计与制造工艺、材料和产品使用的可靠性、完整性及使用性能进行综合评价,它在降低制造成本,提高生产效率和效率,以及提高经济效益等环节中都起着关键性作用。

工业发达国家的无损检测技术已逐步从 NDI 和 NDT 阶段向 NDE 阶段过渡。无损检测评价技术代替无损检查技术和无损检测技术,一方面它包含了后两者的内容,另一方面还具有广泛的内涵,它要求无损检测工作者有更宽的知识面、更扎实的基础和更强的综合分析能力。目前,无损检测技术正在从单纯的检测技术向无损评价和验证技

术方向发展和过渡。

传统的无损检测技术包括五类检测方法，通常称为五大常规检测，它们是：超声波检测（UT）、涡流检测（ET）、磁粉检测（MT）、渗透检测（PT）、射线检测（RT）。在漏磁检测（MFL）技术出现之后，人们往往也将它列入上述五大方法之中。从同是检测漏磁场的工作原理上讲，漏磁检测法与磁粉检测非常类似，并且它们都只适用于铁磁材料，所以人们时常将它们划分为一类，统称为漏磁场检测；若从同是通过电磁感应拾取检测信号的方法而言，漏磁检测又与涡流检测相类似，所以有时人们把它们划分为一类，统称之为电磁检测。但是，我们知道，涡流检测适用于所有导电材料，并且单纯地以交流电为激励手段，所以实际上涡流检测与漏磁检测的区别是很大的。基于这样的理由，似乎上述第一种分类方式更为合理。

1.2 漏磁检测技术发展概述

伴随着世界技术和经济的快速发展，近些年来国内外漏磁检测技术也出现了长足的进步。目前，国内外在漏磁检测技术方面的研究和成果主要体现在如下几个方面。

1.2.1 缺陷漏磁场理论模型及其数值表征

国外漏磁场的理论研究是从 20 世纪五六十年代开始





的。开始时,以试件表面裂纹缺陷周围磁场产生磁荷这一角度,将无限长裂纹看作磁偶极子模型。此后人们做了大量的研究,主要是研究缺陷形状尺寸与漏磁场之间的对应关系,其中有基于磁偶极子模型的解析法和求解麦克斯韦方程的电磁场数值分析方法。采用磁偶极子模型的研究首先获得成功,它对帮助人们认识缺陷漏磁场的形态起了很大作用。由于以磁偶极子模型为基础的解析法存在一定的局限性,人们又开始尝试用电磁场数值分析的方法对漏磁场进行研究。所谓电磁场数值分析法是利用有限元原理,将被检材料内部和周围空间剖分为众多微小单元,在这些单元上求解麦克斯韦方程,并通过边界条件将它们联系起来,以此求得漏磁场的分布情况。在许多复杂形状缺陷的场合,数值分析的方法往往是求解漏磁场唯一可行的手段。人们利用数值分析法研究了不同形状不同取向缺陷以及裂纹深度和宽度对漏磁场的影响。

1.2.2 漏磁场信号与缺陷特征之间的对应关系

在国内,人们采用磁偶极子模型研究了有限长、无限长磁偶极子的漏磁场分布,阐述了缺陷处漏磁场的特点。另外,还在漏磁场量化研究方面做了较为深入的工作。再者,国内还在分析磁性材料磁化状态的时候引入了有效磁导率和平均磁导率的概念。除此之外,对钢丝绳的漏磁场研究也取得很多理论和实际应用成果,还建立了飞机大梁螺栓孔内裂纹漏磁场模型,并通过现代频谱分析导出了漏磁信号与裂纹的几何尺寸间的定量关系。

1.2.3 漏磁检测仪器

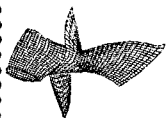
20 世纪 50 年代, 西德 Forster 研究所研制出一系列漏磁探伤装置, 用于焊缝、钢管和钢棒的探伤。美国 Tuboscope 公司先后研制出了 Amalog 和 Sonscope 纵横向两种漏磁探伤装置, 用于石油无缝钢管探伤。英国公司推出多种储灌和管道漏磁扫查系统。目前, 漏磁探伤法的检测结果具有较好的定量性和可靠性, 不仅适用于钢棒和钢管的成品检验, 也适用于粗糙表面的钢坯等中间产品的探伤。

在国内, 一些大学研制出管道漏磁扫描仪, 利用漏磁检测技术对在役石油管道进行高速检测, 还针对钢丝绳无损漏磁检测中的信号处理方法开展研究和探讨。

1.2.4 漏磁检测标准

目前国内外漏磁检测标准的现状是: 国际标准化组织制定了 ISO 9598 《无缝和焊接铁磁性压力钢管横向缺陷的全圆周磁传感器和漏磁探伤》和 ISO 9402 《无缝和焊接铁磁性压力钢管纵向缺陷的全圆周磁传感器和漏磁探伤》两个标准。欧洲标准化委员会也有两项漏磁检测标准, 即 EN 10246/4-99 《无缝铁磁性钢管的自动全圆周传感器和漏磁检测》和 EN 10246/6: 1999 《无缝和焊接(埋弧焊除外)铁磁性钢管的自动全圆周磁传感器和漏磁检测》; 美国方面有 ASTM E 570-1997 《铁磁性钢管制品漏磁检验实施方法》。此外, 美国 API 也有相关的漏磁检测系列标准。





国内 1991 年 5 月制订 GB/T 12606 - 1990 《钢管及圆钢棒的漏磁探伤方法》，1999 年该标准进行了重新修订。修订后为 GB/T 12606 - 1999 《钢管漏磁探伤方法》。1995 年 12 月石油行业颁布了 SY 6186 - 1996 《钢质管道管体腐蚀损伤评价方法》。但迄今为止，在压力容器检测方面，国内外均没有采用漏磁检测的方法规范和颁布相应的标准。

1.3 漏磁检测的特点

1.3.1 漏磁检测的优点

(1) 易于实现自动化。漏磁检测方法是由传感器获取信号，然后由软件判断有无缺陷，因此非常适合于组成自动检测系统。在实际工业生产中，漏磁检测被大量应用于钢坯、钢棒、钢管的自动化检测。

(2) 较高的检测可靠性。漏磁检测一般采用计算机自动进行缺陷的判断和报警，减少了人为因素的影响。

(3) 可实现对缺陷的初步评定。缺陷的漏磁信号与缺陷形状尺寸具有一定的对应关系，从而可实现对缺陷的初步量化，这个量化不仅可实现对缺陷大小的粗略判断，还为对缺陷的危害程度进行初步评价提供依据。

(4) 高效能和无污染。采用非接触传感器获取信号，检测速度快且无任何污染。