

前 言

民用航空使用的航空器，是用当今世界最新技术制造的。随着我国改革开放和经济的繁荣，民用航空事业飞速发展，航空企业引进了大批新飞机，而原有的飞机逐步老化，这些变化促进了航空维修业迅速发展。航空维修/检查是航空器设计的延伸，在保持航空器固有安全性和可靠性水平等方面发挥着关键作用，是航空公司使用航空器不可缺少的行业，无损检测（NDT）是航空器维修、改装和保持持续适航的重要手段。

无损检测具有显著的行业特征，不同的行业根据其检测对象的不同而采用了不同的检测方法和技术。航空器无损检测侧重于在役航空器的原位检测，主要针对民用航空器使用过程中因疲劳、腐蚀、过载和意外损伤等原因造成的缺陷进行检测。为了有针对性地培训航空器无损检测人员，民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会先后选用过中国机械工程学会无损检测学会培训教材、航空航天无损检测人员资格鉴定培训教材、中国航空维修 NDT II 级教材和国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材。这些教材是由国内各行业无损检测知名专家学者编著，内容详尽，论述准确，具有很高的理论水平和很强的实用性，为民航无损检测人员培训提供了很好的指导。但是上述教材侧重于各自行业特点，很少涉及在役航空器，与民用航空器无损检测实际联系不紧密。

为了进一步提高民航无损检测人员培训质量，民航局飞行标准司要求民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会根据航空器维修无损检测的特点，编写一套具有本行业特色的无损检测人员技术资格培训教材。按照飞行标准司的要求，民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会组织了民航系统的专家和技术人员，在总结多年从事无损检测人员培训和实际检测工作经验的基础上，参考国内其他行业培训教材和主要机型的 NDT 手册等资料，完成了本套教材的编写。

本套教材作为民航无损检测 2、3 级人员培训和自学使用，其内容分为基本部分和扩展部分，扩展部分注有“*”号，不作为 2 级人员资格鉴定考试要求。教材内容翔实，篇幅较多，教员可根据培训学时和培训大纲的要求有所取舍。

本套教材参考了中国机械工程学会无损检测学会培训教材、航空航天无损检测人员资格鉴定培训教材、国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材，在此表示感谢！

本套教材包括《航空器无损检测综合知识》、《航空器磁粉检测》、《航空器渗透检测》、《航空器涡流检测》、《航空器超声检测》和《航空器射线检测》。

其他检测方法的教材将根据需要陆续增加。

本教材在基础理论方面与先前采用过的教材保持了一致性，在专业知识和实际应用方面加入了大量航空器维修无损检测的相关知识和实例，重点讲述在役民用航空器原位无损检测基本要求、规范和程序。体现民用航空器维修的特色，将民用航空器无损检测中的典型事例升华为教材，指导检测实践，是本套教材的创新。本教材经过 2007—2008 年几期培训班试用，后又进行了补充修改，现正式出版。

参与本套教材策划、编写、审核的人员有徐超群、陈伦、许万忠、王学民、潘建华、聂有传、张晓、李光浩、侯树聪、常士基、李淑贤、刘兆江、付杭君、胡小虎、杨剑英、郑勇、苏金波、胡良进、刘仲文、张循等。

《航空器磁粉检测》一书共分 10 章，其中第 1~6 章、第 8 章由李光浩编写，第 7 章由张循编写，第 9~10 章由胡小虎编写，全书由李光浩统稿、审校和修改，由王学民、孟铁军主审。

由于编写、审核人员的水平有限和时间仓促，教材中难免存在缺陷和错误，欢迎指正。

民航无损检测人员资格鉴定与认证委员会

2009 年 3 月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 磁粉检测的发展简史和现状	1
1.1.1 磁粉检测的发展简史	1
1.1.2 磁粉检测的现状	2
1.2 漏磁场检测与磁粉检测	4
1.2.1 漏磁场检测方法的分类	4
1.2.2 磁粉检测的特点	4
1.2.3 漏磁的其他检测方法*	5
1.3 表面无损检测方法的比较	6
第2章 磁粉检测的物理基础	8
2.1 磁现象和磁场	8
2.1.1 基本磁现象	8
2.1.2 磁场	9
2.1.3 磁场中的几个基本物理量.....	10
2.2 磁场中的物质.....	13
2.2.1 磁介质.....	13
2.2.2 铁磁质及其磁化原因.....	14
2.3 钢铁材料的磁化.....	15
2.3.1 钢铁材料的磁特性曲线.....	15
2.3.2 铁磁材料的磁性分类.....	18
2.3.3 影响钢铁材料磁性的因素.....	19
2.4 电流的磁场.....	20

2.4.1	磁场的产生	20
2.4.2	通电圆柱导体的磁场	22
2.4.3	通电线圈的磁场	24
2.4.4	通电螺线环的磁场	25
2.4.5	电磁感应现象	25
2.5	退磁场	26
2.5.1	退磁场	26
2.5.2	退磁因子与有效磁场	27
2.5.3	试件长径比的计算	28
2.6	磁场的合成	29
2.6.1	周向磁场与纵向磁场	29
2.6.2	磁场的合成——矢量加法	29
2.6.3	变化磁场的合成	30
2.7	磁路和磁路定理*	33
2.7.1	磁路和磁路基本定理	33
2.7.2	影响磁路的因素	34
2.8	漏磁场	36
2.8.1	磁感应线的折射	36
2.8.2	漏磁场	37
2.8.3	缺陷处的漏磁场分布	38
2.8.4	影响缺陷漏磁场的因素	39
2.9	磁粉检测原理	41
2.9.1	磁粉在漏磁场中受力	41
2.9.2	磁粉检测原理	42
第3章	磁粉检测的设备和器材	43
3.1	设备的分类	43
3.1.1	磁粉探伤机的命名方法	43
3.1.2	通用固定式磁粉探伤机	44
3.1.3	专用及半自动化磁粉探伤机*	46
3.1.4	移动式磁粉探伤机	46
3.1.5	便携式磁轭探伤装置	46
3.2	磁粉检测设备的主要组成	47
3.2.1	磁化电源装置	47
3.2.2	工件夹持装置	49

3.2.3	指示与控制装置	49
3.2.4	磁粉和磁悬液喷洒装置	50
3.2.5	照明装置	50
3.2.6	退磁装置	52
3.3	常用典型设备举例*	53
3.3.1	固定式探伤机	53
3.3.2	触头通电磁化探伤仪	56
3.3.3	便携式磁轭探伤仪	57
3.4	检测设备的安装、使用与维护	57
3.4.1	磁粉探伤机的选择与安装	57
3.4.2	磁粉探伤机的使用	59
3.4.3	磁粉探伤机的维护与保养	60
3.5	磁粉	60
3.5.1	磁粉的种类	60
3.5.2	磁粉的性能	61
3.5.3	磁粉的性能测定和验收	63
3.6	磁悬液	64
3.6.1	磁悬液的性能要求	64
3.6.2	载液	65
3.6.3	磁悬液浓度及其测定	65
3.6.4	磁悬液的配制	66
3.6.5	磁悬液的使用与维护	68
3.7	标准试块和试片	69
3.7.1	标准试片与试块的用途	69
3.7.2	人工缺陷标准试片	69
3.7.3	人工缺陷标准试块	71
3.7.4	自然缺陷试块和专用试块	73
3.7.5	试块使用维护注意事项	73
3.8	硫化硅橡胶和反差增强剂*	74
3.8.1	硫化硅橡胶	74
3.8.2	反差增强剂	75
3.9	测量设备与器材	75
3.9.1	磁性材料测量仪器*	75
3.9.2	表面磁场测量仪器	75
3.9.3	测光仪器	76

3.9.4 磁粉与磁悬液测定仪器与装置	76
第4章 磁化方法与磁化规范	78
4.1 磁化电流	78
4.1.1 交流电流(AC)	78
4.1.2 直流电流(DC)	81
4.1.3 其他磁化电流	83
4.1.4 磁化电流的选择	83
4.2 磁粉检测灵敏度和磁化参数	84
4.2.1 缺陷磁粉显示和检测灵敏度	84
4.2.2 最佳磁化方向的选择	85
4.2.3 磁化方法的分类	86
4.3 周向磁化方法及磁场分布	87
4.3.1 通电磁化法	87
4.3.2 中心导体法	89
4.3.3 触头通电法	91
4.3.4 感应电流法	92
4.3.5 环形件绕电缆法	92
4.4 纵向磁化方法及磁场分布	93
4.4.1 线圈法	93
4.4.2 磁轭法	94
4.4.3 永久磁铁法	95
4.5 多向磁化及其他磁化方法	95
4.5.1 螺旋形摆动磁场磁化法*	96
4.5.2 旋转磁场磁化法	96
4.5.3 其他组合磁场磁化法*	97
4.5.4 平行磁化方法*	98
4.6 周向磁化规范的选择	99
4.6.1 周向磁化规范选择计算式	99
4.6.2 周向磁化规范选取方法	101
4.6.3 局部周向磁化的磁化规范	103
4.7 纵向磁化规范的选择	105
4.7.1 纵向磁化规范的选择依据	105
4.7.2 线圈纵向磁化电流的计算	106
4.7.3 磁轭磁化	109

4.8 利用磁特性曲线选取磁化规范*	109
4.8.1 磁化工作点选取的基本原则	110
4.8.2 周向磁化规范的制定	110
4.8.3 周向磁化规范制定举例	111
4.8.4 纵向磁化规范的确定	112
4.9 选择磁化方法和磁化规范应注意的问题	112
第5章 磁粉检测工艺与操作	115
5.1 磁粉检测工艺流程	115
5.1.1 磁粉检测的工艺流程图	115
5.1.2 磁粉检测的操作程序	115
5.2 工序安排与工件预处理	116
5.2.1 磁粉检测的工序安排	116
5.2.2 被检工件的预处理	117
5.3 检验方法	117
5.3.1 湿法和干法	117
5.3.2 连续法和剩磁法	118
5.4 磁化操作	118
5.4.1 磁化电流的调节	118
5.4.2 磁粉检测系统的综合性能检查	119
5.4.3 磁粉的施加	119
5.4.4 连续法和剩磁法操作要点	120
5.4.5 磁化操作方法	120
5.5 磁痕观察、评定与记录	122
5.5.1 磁痕观察的环境	122
5.5.2 磁痕观察的方法	122
5.5.3 不连续性的识别与评定	123
5.5.4 磁痕的记录与保存	123
5.5.5 记录与检测报告	124
5.6 退磁	124
5.6.1 退磁的原理	124
5.6.2 影响退磁效果的因素	125
5.6.3 退磁的方法	125
5.7 后处理	127

第6章 磁痕分析与工件验收	128
6.1 磁痕分析及其重要性	128
6.2 非相关显示和伪显示	128
6.2.1 非相关显示和伪显示的特点	128
6.2.2 非相关显示和伪显示的表现及产生原因	129
6.3 相关显示	130
6.3.1 常见缺陷的分类	130
6.3.2 裂纹及其磁痕	131
6.3.3 其他缺陷及其磁痕显示	134
6.3.4 缺陷磁痕和非缺陷磁痕的鉴别	137
6.4 缺陷磁痕的评定与验收	138
6.4.1 缺陷磁痕显示的评定方法	138
6.4.2 磁痕评定与验收中应注意的问题	138
第7章 磁粉检测应用	139
7.1 各种磁化方法的应用	139
7.1.1 通电磁化法的应用	139
7.1.2 间接磁场(磁感应)磁化法的应用	140
7.1.3 感应电流磁化法的应用	141
7.2 民航维修中常用零件的检查	141
7.2.1 管、轴、杆类工件的检测	142
7.2.2 齿轮、轴承类零件的检测	142
7.2.3 盘类工件的检测	143
7.2.4 表面有涂覆层工件的检测	143
7.3 磁粉检测在民航维修中的应用	143
7.3.1 轮毂螺杆的检测	143
7.3.2 刹车扭力筒的检测	144
7.3.3 刹车压力盘的检查	145
7.3.4 起落架的大修检查	145
7.3.5 特殊零件的检测	146
7.3.6 零部件的原位检查	147
第8章 质量控制与安全防护	149
8.1 磁粉检测质量控制	149

8.2 磁粉检测安全防护	154
第9章 常用磁粉检测标准及规范	156
9.1 磁粉检验的主要工业标准	156
9.1.1 国家标准 GB/T15822—1995《磁粉探伤方法》	156
9.1.2 中国民航标准 MH/T3008《航空器无损检测磁粉检验》	156
9.1.3 美国标准 ASTM E1444《STANDARD PRACTICE FOR MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION》	159
9.2 民航常用工艺规范	160
9.2.1 波音规范 BSS7040/BAC5424/SOPM20-20-01	160
9.2.2 空客磁粉检验规范	161
9.3 其他相关工业标准	161
第10章 磁粉检测实验	163
10.1 实验1 磁化规范的确定	163
10.1.1 实验目的	163
10.1.2 实验器材	163
10.1.3 实验方法	163
10.1.4 记录实验结果及讨论	163
10.2 实验2 磁悬液质量控制和照度质量控制	164
10.2.1 实验目的	164
10.2.2 实验器材	164
10.2.3 实验方法	164
10.2.4 记录实验结果及讨论	165
10.2.5 附录 铁磁性材料参数	165
参考文献	176

第1章 绪论

1.1 磁粉检测的发展简史和现状

1.1.1 磁粉检测的发展简史

磁粉检测是利用磁现象来检测工件中的缺陷，它是漏磁检测方法中最常用的一种。磁现象的发现比电现象更早，远在春秋战国时期，我国劳动人民就发现了磁石吸铁现象，并发明了指南针，最早应用于航海。17世纪以来，一大批科学家对磁力、电流周围存在的磁场、电磁感应规律以及铁磁物质等进行了系统研究。这些伟大的科学家在磁学史上树立了光辉的里程碑，也给磁粉检测的创立奠定了理论与实践基础。

早在19世纪，人们就已开始从事磁通检漏试验。1868年，英国《工程》杂志首先发表了利用罗盘仪探查磁通以发现枪管上不连续性的报告。8年之后，Hering利用罗盘仪检查钢轨不连续性获得美国专利。

关于磁粉检测的设想是美国人霍克于1922年提出的。他在切削钢件的时候，发现铁末聚集在工件上的裂纹区域。于是，他第一个提出可利用磁铁吸引铁屑这一人所共知的物理现象来进行检测。但是，在1922—1929年的7年间，他的设想并没有付诸实施，其原因是受到当时磁化技术的限制以及缺乏合格的磁粉。

1928年，Forest为解决油井钻杆断裂问题，研制了周向磁化，使用尺寸和形状受控的磁粉，获得了可靠的检测结果。Forest和Doane开办的公司，在1934年演变为生产磁粉检测设备和材料的Magnaflux（磁通公司），对磁粉检测的应用和发展起了很大的推动作用，在此期间，首次用来演示磁粉检测技术的一台实验性的固定式磁粉检测装置问世。

磁粉检测技术早期被用于航空、航海、汽车和铁路部门，用来检测发动机、车轮轴和其他高应力部件的疲劳裂纹。在20世纪30年代，固定式、移动式磁化设备和便携式磁轭相继研制成功，湿法技术也得到应用，退磁问题也得以解决。

1938年德国发表了《无损检测论文集》，对磁粉检测的基本原理和装置进行了描述；1940年2月美国编写了《磁通检验的原理》教科书，1941年荧光磁粉投入使用。

磁粉检测从理论到实践，已初步形成成为一种无损检测方法。

第二次世界大战后，磁粉检测在各方面都得到迅速的发展，各种不同的磁化方法和专用检测设备不断出现，特别是在航空、航天及钢铁、汽车等行业，不仅用于制造产品检验，还在预防性的维修工作中得到应用。在 20 世纪 60 年代工业竞争时期，磁粉检测向轻便式系统方面进展，并出现磁场强度测量、磁化指示试块（试片）等专用检测器材。由于硅整流器件的进步，磁粉检测设备也得以完善，检验系统也得到开发。随着无损检测工作的日益被重视，磁粉检测 1、2、3 级人员的培训与考核也成为重要工作。1978 年，第一次将可编制程序的元件引入，代替了磁粉检验系统的逻辑继电器。高亮度的荧光磁粉和高强度的紫外线灯的问世，极大地改善了磁粉检验的检测条件。如今，湿法卧式磁粉检验系统已发展到使用微机控制，磁粉检验法已包括适配的计算机化的数据采集系统。值得一提的是，前苏联全苏航空研究院的瑞加德罗，毕生致力于磁粉检测的研究和开发工作，作出了卓越的贡献。20 世纪 50 年代初期，他系统地研究了各种因素对检测灵敏度的影响，在大量试验的基础上，制订了磁化规范，被世界许多国家认可并采用。20 世纪 90 年代，俄罗斯学者率先提出利用加载铁磁构件中产生的磁记忆效应可以检测构件表面的应力集中区，又诞生了一种新的磁检测技术。

解放前我国仅有几台进口的美国蓄电池式直流磁探机，用于航空零件的维修检查。新中国成立后磁粉检测在航空、兵器、汽车等机械工业部门首先得到广泛应用。几十年来，在各国磁粉检测工作者和设备器材制造者的共同努力下，使磁粉检测已经发展成为一种成熟的无损检测方法。新中国民航维修业的磁粉检测 20 世纪 50 年代开始起步，经过 50 年的发展，目前在设备、人员培训与检测标准等方面已经逐渐与国际先进水平接近。

1.1.2 磁粉检测的现状

国外很重视磁粉检测设备的开发，现在国外磁粉检测设备从固定式、移动式到便携式，从半自动、全自动到专用设备，从单向磁化到多向磁化，设备已系列化和商品化。由于晶闸管等电子元器件和计算机技术用于磁粉检测设备，使设备小型化并实现了电流无级调节，智能化设备大量涌现，这些设备可以预置磁化规范和合理的工艺参数，进行荧光磁粉检测和自动化操作。国外成功地运用电视光电探测器荧光磁粉扫查和激光飞点扫描系统，实现了磁粉检测观察阶段的自动化，将检测到的信息在微机或其他电子装置中进行处理，鉴别验收标准以外的不连续性，并进行自动标记和分选，提高了检测的灵敏度和可靠性，代表了当代磁粉检测的新成就。

我国近年来磁粉检测设备发展也很快，磁粉检测设备已实现了专业化和系列化，三相全波直流检测超低频退磁设备的性能与国外同类设备的水平相当，交流磁粉探伤机用于剩磁法检验时加装的断电相位控制器保证了剩磁稳定，是我国的特色。断电相位控制器利用了晶闸管技术，可以代替自耦变压器无级调节磁化电流，为我国磁粉检测设备的电子化和小型化奠定了基础。半自动化检测设备的广泛使用，大大提高了检

测的速度和质量。智能化设备和光电扫描图像识别的磁粉检测设备已研制成功，荧光磁粉检测电视摄像观察系统已投入生产，用电脑处理磁痕显示的试验也有了很大进展。

磁粉检测的器材，国内外开发的很多。如与固定式探伤机配合用的400W冷光源紫外灯，解决了紫外灯工作时的发热问题，快速断电试验器的开发解决了三相全波整流电纵向磁化线圈的“快速断电效应”功能检查问题。标准试片、试块和测量剩磁用的磁强计都形成系列产品配套使用。国内研制的LPW-3号磁粉检验载液（无味煤油），主要性能指标高于国外同类产品。照度计和紫外辐射计的性能也不亚于国外同类产品。但国产紫外灯的质量还有待提高，袖珍式磁强计的生产还满足不了市场需要。国内磁粉检测用磁粉，尤其是荧光磁粉，质量尚待进一步提高。国外有不同规格（包括黑光和白光）的光导纤维内窥镜，能满足工件上孔内壁缺陷的检测要求，仪器型号和生产厂家一般都纳入有关技术标准中。国内已研制出光导纤维内窥镜，希望提高黑光辐照度后能大力推广应用。

在工艺方法方面，我国有关行业组织测定了常用的百余个钢种的磁特性曲线，为准确地选择磁化规范提供了很好的依据。我国发明的磁粉检测——橡胶铸型法（MT-RC法），为定量检测孔内壁早期疲劳裂纹闯出了一条新路，还为记录缺陷磁痕提供了良好的方法，比国外应用的磁橡胶法有无可比拟的优越性。在对缺陷和激励磁场间相互作用所产生的漏磁场分布特性、磁粉在漏磁场中的受力分析等基础理论的研究上，我国学者也取得了较大的进展。

磁粉检测的质量控制，要求对影响磁粉检测灵敏度的诸因素逐个地加以控制，国外非常重视，不仅制定了具体控制项目、检验周期和技术要求，并设有质量监督检查，保证贯彻执行。在我国，通过借鉴国外先进经验对磁粉检测质量控制日益受到重视，并能较好地贯彻执行。目前，国内颁布了一系列磁粉检测标准来保证磁粉检测工作的正常进行，但各行业、各单位发展不平衡，有些质量控制项目没有纳入标准，有些虽纳入标准，但流于形式，这种局面亟待改变。

随着我国民用航空制造、维修业的迅速发展，1958年，民航101修理厂建厂时成立了无损检测室，后来，102、103厂相继成立试验室，开展了磁粉检测工作，自从1996年第一届无损检测人员技术资格鉴定委员会成立以来，培训了大批磁粉检测人员，制定了磁粉检测标准、培训大纲、题库、试件库，对无损检测工作进行了规范化，满足了民航磁粉检测发展的要求。

磁粉检测工作的重要性日益受到重视，磁粉检测的方法也将日臻完善和拓展。民用航空无损检测的人员资格鉴定与认证工作的进一步实施与完善，将大大提高无损检测人员素质，提高民用航空业的检测能力。磁粉检测工作必将出现一个新局面，达到一个新水平，为我国民用航空制造、维修业的发展做出应有的贡献。

1.2 漏磁场检测与磁粉检测

1.2.1 漏磁场检测方法的分类

漏磁场检测是无损检测中用得较多的一种形式。它是利用铁磁性材料或工件磁化后，如果在表面和近表面存在材料的不连续性（材料的均质状态或致密性受到破坏），则在不连续性处磁场方向将发生改变，在磁力线离开工件和进入工件表面的地方产生磁极，形成漏磁场。用传感器对这些漏磁场进行检测，就能检查出缺陷的位置和大小。

根据漏磁场检测的方法，漏磁场检测可以分为：

1. 漏磁场测定法

利用某种传感器件，直接对漏磁场进行检测的方法。

能够检测漏磁场的器件很多，主要有两大类，即检测线圈和磁敏元件：检测线圈是利用电磁感应原理，当线圈接收到漏磁场的变化，线圈中将有感应电流产生。将这种电流进行放大和处理分析，就可以得到材料缺陷状况的信息。磁敏元件（霍尔元件、磁敏二极管等）是一种能将磁信号转换成电信号的磁电转换器件，利用它们可以检查材料表面是否存在由缺陷引起的漏磁场。

2. 磁性记录法

这是一种利用录磁材料（如磁带）来记录缺陷产生的漏磁信息，然后将这些信息再现以供分析处理的检测技术。

3. 磁粉检测法

用磁粉作为漏磁场的检测介质，利用磁化后工件的缺陷处漏磁场吸引磁粉形成的磁痕显示，从而确定缺陷存在的一种检测方法。

比较上述3种方法，可以看出磁粉法最简单、实用，灵敏度也较高，成本也较低廉，适合于多种场合和不同产品，因而在生产实际中得到广泛应用。但是，磁粉检测法速度低，难于实现自动化，人为影响因素复杂，比不上其他方法容易实现自动控制。利用漏磁和录磁的检测方法，能实现对大批量工件的自动化检测，不仅可以检出缺陷，还能对缺陷的某些特性进行测量。对形状复杂、检测影响因素多的工件，磁粉检测优势较强，但对形状或检测要求单一，并且批量很大的工件，漏磁和录磁检测则具有较强优势。

1.2.2 磁粉检测的特点

磁粉检测（Magnetic Particle Testing, MT），又称磁粉探伤或磁粉检验，是五种应用较为广泛的常规无损检测方法之一。磁粉检测的对象是铁磁性材料，包括未加工的原材料（如钢坯），加工后的半成品、成品及在役使用中的零部件。磁粉检测的基础是缺陷处漏磁场与磁粉间的相互作用。在铁磁性工件被磁化后，由于材料不连续性的存在，使

工件表面和近表面的磁力线在材料不连续处发生局部畸变而产生漏磁场，吸附施加在工件表面的磁粉，形成了在合适光照下目视可见的磁痕，从而显示出材料不连续性的位置、形状和大小，通过对这些磁痕的观察和分析，就能得出对影响被检件使用性能的缺陷的评价。

磁粉检测有以下优点：

①可发现裂纹、夹杂、发纹、白点、气孔、折叠、冷隔和疏松等缺陷，缺陷显现直观，可以一目了然地观察到它的形状、大小和位置。根据缺陷的形态及加工特点，还可以大致确定缺陷是什么性质。

②具有较高的检测灵敏度，对工件表面的细小缺陷也能检查出来。一些缺陷如发纹，宽度很小，用磁粉检测也能发现。但是太宽的缺陷将使检测灵敏度降低，甚至不能吸附磁粉。

③只要采用合适的磁化方法几乎可以检测到工件表面的各个部位，几乎不受工件大小和形状的限制。

④与其他检测方法相比较，检测成本也比较低廉。

磁粉检测的主要缺点是：

①只能适用于铁磁性材料，而且只能检查出铁磁工件表面和近表面的缺陷，一般深度不超过1~2mm（直流电检查时深度可大一些）。对于埋藏较深的缺陷则难于发现。磁粉检测不能检测奥氏体不锈钢及利用奥氏体不锈钢焊条焊接的焊缝，也不能检测铜、铝、镁、钛等非磁性材料。

②检查缺陷时的灵敏度与磁化方向有很大关系。如果缺陷方向与磁化方向平行，或与工件表面夹角小于 20° 的缺陷就难于显现。另外，表面浅的划伤、埋藏较深的孔洞及锻造皱褶等，也不容易被检查出来。

③如果零件表面有覆盖层、漆层、喷丸层等，将对磁粉检测灵敏度起不良影响。覆盖层越厚，这种影响越大。

④由于磁化工件绝大多数是用电流产生的磁场来进行的，因此，大的工件往往要用较大的电流，磁化后一些具有较大剩磁的工件还要进行退磁处理。

⑤采用直接通电法检测时容易烧蚀工件。

1.2.3 漏磁的其他检测方法*

用来检测漏磁场的元件种类很多，主要有感应线圈、磁敏元件（霍尔元件和磁敏二极管等）和磁带。

磁带：漏磁场可直接记录在磁带上，然后再变换成电信号进行处理；

感应线圈：输出取决于线圈的匝数、被检材料的相对速度；

磁敏检测元件：直接将漏磁场变换成电信号。有霍尔元件和磁敏二极管等。其中，霍尔元件中传感元件的尺寸（有效感磁面积）与感磁灵敏度是重要参数；磁敏二极管的灵敏度比霍尔元件高，但温度特性不如霍尔元件。霍尔元件目前已作成集成电路，在钢丝绳漏磁检测中应用。

1. 漏磁检测法

漏磁法利用磁敏元件做成的探头检测工件表面的漏磁。所测得的漏磁信号的大小与缺陷之间有明显的关系，而缺陷宽度对漏磁信号的振幅影响较小。漏磁检测法主要适用于对称及旋转的工件，例如轴类、管材、棒材等，因此易于实现自动化。

图 1.1 是用磁轭法检查管子表面裂纹的一种探头形式。在这种方法中，磁轭探头不动，管子在旋转的同时作纵向运送。用于探头的磁敏元件可用磁敏二极管或霍尔元件，也可以采用其他弱磁场测量装置。

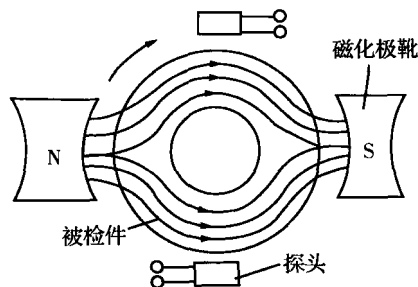


图 1.1 管子旋转漏磁检查

2. 录磁检测法

录磁检测法是用磁带记录漏磁场方法来进行检测的，又称磁录像法。它是将具有很高矫顽力和剩磁的磁带紧贴在被检工件表面上，对工件进行适当磁化，则在不连续性处产生的漏磁场信息就全部记录在磁带上，然后通过磁电转换器（又称磁头）将录制的漏磁场信息再转换成电信号，显示在荧光屏上，或使用自动记录器获得材料不连续性漏磁场的完整曲线或图像，从而确定不连续性的部位、性质和大小。磁带在记录漏磁场与复放磁带时，有较高的灵敏度和良好的再现性。检测结果也可长期保存。

录磁检测常用于如钢坯、方钢、平板或平板焊缝的漏磁场检测，可检测极微弱的磁场信息。它不仅记录工件表面缺陷的散射磁场，还可以记录埋藏在工件近表面的内部缺陷的散射磁场。磁带记录的信息可以长期保存。录磁法对被检工件的表面粗糙度要求不高。

进行录磁法的条件是，必须在直流或脉动电流励磁的磁场下进行，励磁应使工件达到磁饱和。为了分析磁场分布信息，应当采用电子技术对所获得的信息进行处理。目前，录磁检测技术应用逐步扩大，例如检测石油管道焊缝、化工容器与管道、电站承压管道等。国外已将录磁检测技术成功地应用于轧钢生产线及潜艇焊缝的检查。

1.3 表面无损检测方法的比较

磁粉检测、渗透检测和涡流检测都属于表面无损检测方法，但其方法原理和适用范围区别很大，有各自的优点和局限性，在使用时互相补充。应该很好掌握各种检测方法，并能根据工件材料、状态和检测要求，选择合理的方法进行检测。对于钢铁材料制成的工件，磁粉检测无论是在灵敏度还是在检测过程及检测成本上都占有相当的优势，一般而言，只有在因材料或工件形状等原因不能采用磁粉检测时，方使用渗透检测或涡流检测。

表 1-1 列出了三种检测方法各自的特点。

第1章 绪论

表 1-1 表面无损检测方法的比较

	磁粉检测 (MT)	渗透检测 (PT)	涡流检测 (ET)
方法原理	缺陷漏磁场吸附磁粉	毛细渗透作用	电磁感应作用
能检出的缺陷	表面及近表面缺陷	表面开口缺陷	表面及近表面缺陷
缺陷表现形式	磁粉附着在缺陷附近形成磁痕	渗透液渗出形成缺陷显示	检测线圈电压和相位发生变化
显示材料	磁粉	渗透液和显像剂	记录仪、电压表和示波器
适用材质	铁磁性材料	非松孔性材料	导电材料
主要检测对象	扭力管、动盘、静盘、螺栓、起落架部件、销子、驱动键等	轮毂、活塞盘、非铁磁性的发动机及起落架零部件等	轮毂、机身结构件及蒙皮、发动机吊架结构、紧固件孔, 电导率测试及厚度测量等
主要检测缺陷	裂纹、发纹、白点、折叠、夹杂物、冷隔等	裂纹、腐蚀、疏松、针孔等	裂纹、腐蚀、材质变化、厚度变化等
缺陷显示	直观	直观	不直观
检测速度	快	较慢	最快
应用	探伤	探伤	探伤、电导率测试、测厚
污染	轻	较重	最轻
灵敏度	高	高	较低

第2章 磁粉检测的物理基础

2.1 磁现象和磁场

2.1.1 基本磁现象

磁铁具有吸引铁屑等磁性物体的性质叫做磁性。凡能够吸引其他铁磁性材料的物体叫做磁体，磁体是能够建立或有能力建立外加磁场的物体。有永磁体、电磁体等种类。

将一根条形磁铁放在铁粉堆里再取出来，可以看到靠近它的两端的的地方吸引铁粉最多，其他地方很少或没有。磁铁上这种磁性最强的区域称为磁极（见图 2.1）。

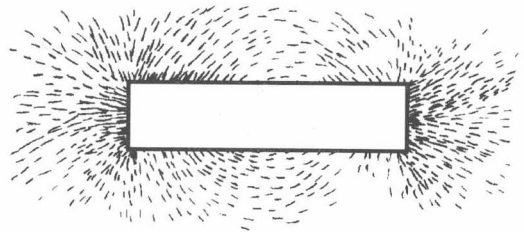


图 2.1 条形磁铁吸引磁粉

磁极具有方向性。将一根能绕轴旋转的条形小磁铁放在空间，它的两个磁极将指向地球的南北方向。指北的一端叫北极，用 N 表示；指南的一端叫南极，用 S 表示。小磁铁指向地球南北的原因，是地球本身就具有磁性，它是一个大磁体。每个磁体上的磁极总是成对出现的，在自然界中没有单独的 N 极或 S 极存在。如果把条形磁铁分成几个部分，每一部分仍有相应的 S 极和 N 极，如图 2.2 所示。即使把磁铁捣成粉末，S 极和 N 极仍在每个颗粒上成对出现。磁铁之间所具有的相互作用力叫磁力。极性相同的磁极（S 极和 S

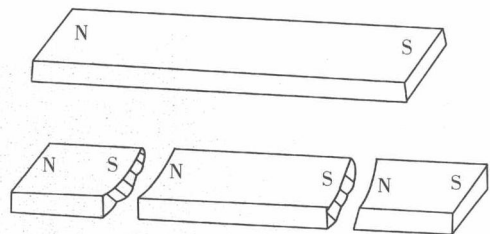


图 2.2 折断后的磁铁棒所形成的磁极

极、N 极和 N 极) 互相排斥；极性相反的磁极（S 极和 N 极）彼此间互相吸引。磁力的大小和方向是可以测定的。同一个磁体的两个磁极磁力大小相等，但方向相反。把一