

● 中等专业学校试用教材

机械检测与诊断技术

沈阳铁路机械学校 年大中 主编

中国铁道出版社

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书共分二篇五章,其主要内容包括两部分。第一部分主要讲述机械检测技术(各种无损检测及应变检测)及机械主要参数(转角、转速、振动及噪声)检测的基本原理、方法及其检测设备的性能、原理和使用。第二部分主要讲述机械诊断技术,介绍诊断技术的基本原理、方法及其应用实例(滚动轴承的诊断、红外线诊断、润滑油样的分析诊断和内燃机综合诊断)。

本书是中等专业学校机械专业教材,还可作为技工学校和现场职工培训教材,也可供有关技术人员及使用维修人员参考。

中等专业学校试用教材

机械检测与诊断技术

沈阳铁路机械学校 年大中 主编

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 吴桂萍 封面设计 马 利

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本:787×1092 毫米 1/32 印张:6.875 字数:149 千

1995 年10月 第1版 第1次印刷

印数:1—2000 册

ISBN-7-113-02010-0/TH·49 定价:4.10 元

前 言

本教材是根据铁道部教育司批准的中等专业学校“起重与工程机械”专业教学大纲的要求编写的。教学时数为 48 学时。

本书内容共分二篇五章。第一篇讲述机械检测技术,主要介绍无损检测、应变检测和机械主要参数检测的基本原理和具体方法。第二篇讲述机械诊断技术,主要介绍机械诊断技术的基本知识、方法及机械诊断技术的应用实例。

本书在叙述中,着重于基本概念、基本原理和测量、诊断方法。通过本教材的学习可以获得有关机械检测和诊断技术的基本知识。

本书的文字符号、单位等均采用了现行的国家标准,并在各章后,编写了复习思考题。

本教材由沈阳铁路机械学校年大中主编,沈阳铁路机械学校郑寿君主审。编写分工为:第一、四、五章由年大中编写;第二、三章由南昌铁路机械学校康芳茂编写。

编 者

1994 年 5 月

目 录

第一篇 机械检测技术.....	1
第一章 无损检测.....	5
第一节 概 述.....	5
第二节 磁粉探伤.....	9
第三节 渗透探伤	20
第四节 超声波探伤	30
第五节 射线探伤	47
第六节 电涡流探伤	57
第二章 应变检测	65
第一节 概 述	65
第二节 应 变 片	66
第三节 应变测量电桥	76
第四节 电阻应变式传感器	85
第三章 机械参数的检测	94
第一节 概 述	94
第二节 转角与转速的测量	97
第三节 机械振动的检测.....	104
第四节 噪声的检测.....	119

第二篇 机械诊断技术	137
第四章 机械诊断技术基本理论	144
第一节 机械诊断的基本过程.....	144
第二节 机械诊断的几种类型.....	145
第三节 诊断信号的种类和采集.....	147
第四节 诊断信号处理和状态识别.....	149
第五节 机械诊断参数的确定.....	151
第六节 诊断参数.....	156
第五章 机械诊断技术的应用实例	160
第一节 滚动轴承的诊断.....	160
第二节 红外线诊断.....	176
第三节 润滑油样的分析诊断.....	191
第四节 内燃机综合诊断.....	200
参考资料	212

第一篇 机械检测技术

一、机械检测技术的作用

检测是通过对物体的检查和测量,来认识其性能和状态的。检测技术就是研究检测的原理、方法和使用的仪器等方面内容的一门科学。

检测是人们认识事物本质的重要手段,特别是近代科学技术的发展,没有检查测试技术就不会有科学上的进步。科学上很多新的发现和突破都是以测试为基础。在工业生产过程中,为能保证可靠和高效率的生产,检测技术也是起着很重要的作用,其表现主要有以下几方面。

1. 能提供设备在运转中或其它情况下的有关信息,以便监视生产过程,使之保持在最佳工作状态运行;或将生产过程的各种信号测出,经处理后,分析工作情况是否正常,如不正常,则可判断故障位置、性质,并决定是否继续生产或进行维修。

2. 可将生产过程中各种工艺参数及时测量出来,与要求的数值相比较,进行反馈,自动调节后使生产过程在符合规定要求的参数下工作。

3. 对工艺过程或设备进行分析。在机械工程中对一些待改进的工艺过程、工艺设备需要作系统的测试,才能对原有的形状作出分析、评价,以找出改进措施。改进后,是否达到了预期效果,还需做系统的测试来进行分析和鉴定。这些测试结果

也是以后改进设备和工艺设计的依据。

可以说在机械工业中生产技术的改进及设备的改造都离不开检测技术。

二、机械检测技术的种类

(一)按使用检测设备的不同分类

1. 直接检测法(也称为直观感观检测法):是不用量具、仪器,仅靠检测人员的直观感觉来鉴别被测物体的技术状态的方法。它包括目测法、耳听法和触觉法等。这是一种最简便、最原始的检测方法,但它检测的精度不高,检测的范围很有限,并且要求检测人员要有丰富的经验,所以,只适用分辨缺陷明显和精度要求不高的地方。

2. 用仪器、工具检测法:大量的检测都是用仪器、工具进行的。根据仪器、工具的种类和工作原理不同,可分为普通量具,专用量具,机械式仪器、光学仪器和电子仪器等不同类型。这些仪器随着科学技术的发展而不断发展。70年代以来,由于电子技术的飞速发展,电测技术相应得到很大提高。如利用电磁技术进行检测的电磁检测及利用电子技术进行测量的电子检测技术等,都具有检测准确度高、灵敏度高、速度快、连续进行测量、便于自动记录等优点。此外,在科学技术和生产工程上很多地方需要测量非电量的参数,如机械量(位移、尺寸、力、振动等)、热工量(温度、压力、流量等)和成分量等。采用电测方法来检测这些非电量参数的检测方法称为“非电量电测技术”。

由于非电量电测技术具有测量精度高,反应速度快,能自动、连续进行测量,还可进行遥测、便于自动记录,可与电子计算机联机处理,可采用微处理机作成智能仪器等优点,因此很

快地在很多领域中得到广泛的应用,并出现了各种类型的非电量电测仪器。尤其是随着科学技术和生产的发展,检测技术中不仅是静态的测量,而且越来越多的要进行动态物理量的测试,非电量电测技术更显出了它的优越性。

(二)根据检测项目的性质分类

1. 静态几何尺寸和形位的检测:主要是用量具或专用量具来测量被检物的长度、内外直径、厚度、深度、角度和形状、位置等。常用的量具有量尺、游标卡尺、游标深度尺、内、外径千分尺、万能角度尺等。专用量具是以被测物的种类和部位的不同而设计的专门量具,例如有轴孔量规、螺纹量规、圆锥量规、花键量规、螺纹百分尺、齿轮公法线千分尺等。使用上述量具时,要注意量具测量的精度与所用量具本身的精度有关,必须根据被测件表面质量和精度要求选择适当的量具,不允许用高精度的量具测量粗糙的表面。

2. 力学物理性能的检测:是指对被检物的物理性能的技术状态方面的检测。如被检物的表面硬度、回转面的动、静平衡、弹簧的弹力、精密件的密封性能等。

3. 对隐蔽缺陷的检测:物件由于制造加工等因素或在使用中都可能出现外观难以察觉的缺陷,如气孔、夹渣、裂纹等。这些缺陷有可能在表层,有可能在物体的内部深处,很难发现。为了探测这些隐蔽缺陷,在不损坏被检物的条件下使用专门的仪器和方法进行检测,称为无损检测技术(或称无损探伤技术),它是检测技术中的重要分支。随着科学技术的发展,无损检测技术已发展成一类专门独立的新技术,被广泛地应用在机械制造、产品质量的检验和修理各行业中。

4. 机械动态参数的测量:是指对物体机械运动时产生的物理量的检测。如物体的力和扭矩、转速、加速度以及振动和

噪声的检测。

本篇主要讲述检测技术的基本理论、检测原理及机械工程领域中常用的检测技术方法。检测技术是一门新兴的科学技术,它所涉及的学科范围较广,如物理、数学、力学、电工及电子学控制理论及计算机等。学习时还要联系实际和具体运用。

本部分内容理论性和实践性均很强,除需要重视理论与实际的结合,还需要努力作到与生产实际相结合。此外,检测技术发展很迅速,新的检测方法、仪器和分析理论不断出现,但因本教材篇幅所限,不可能也没有必要将检测全部内容包括,而只能讲述这一科学技术中的主要的、有代表性的基本理论和技能。所以,希望在学习中能注意课程内外和课程之间的横向联系,做到触类旁通。

复 习 题

1. 什么是机械检测技术?它的作用如何?
2. 机械检测技术分有哪些种类?各有什么特点?

第一章 无损检测

第一节 概 述

无损检测技术是一门新兴的应用技术科学,近年来国外发达国家发展的十分迅速,它是控制产品质量、保证设备安全运行的重要手段。近10年来,在我国机械、冶金、航空、原子能、国防、铁道、交通、电力、化工等工业部门也都已得到广泛的应用,并日益得到各方面的重视。

一、无损检测的目的和作用

材料和产品的检测,可分为破坏性和非破坏性的检测。在金属材料的冶炼、铸造、锻造、焊接与热处理及非金属材料的合成、浇注、挤压或整形加工以及金属、非金属的各种粘接过程中,都不可避免地会产生这样或那样的缺陷,如裂纹、疏松、气泡、夹渣、未焊透或脱粘等。无损检测就是在不破坏材料或制品的情况下,采用化学、物理等方法来探测产品内部或表面的各种缺陷。所以也称为无损探伤技术。

随着现代工业的发展,为了适应对材料和产品的检验所提出的更高要求,将现代物理、化学、电子学和计算机技术等科学的新成就,应用于材料和产品的检验,形成了现代无损检测。

现代的无损检测不但要探测缺陷的有无,而且还要作出材质定量的评价。其中包括对有缺陷材料和产品的形状大小、位置、内含物质的定量的测量,可对其缺陷作出质量的评价,

测深度大、灵敏度高、仪器便于携带、成本低、可实现自动化检测；缺点是缺陷性质判断技术难度较大，检测结果不易记录。

射线检测是利用各种射线(主要有 X 射线、 γ 射线和中子射线)对物体的穿透性能不同及物体对射线的衰减程度不同，在感光底片上和荧光屏上所显示的图象来观察判断物体内部的状况和缺陷。它的优点是检测的图象较直观，对缺陷的性质、尺寸判断较准确，并且检测结果可以记录；缺点是不易检测与射线近于垂直的裂纹缺陷，检测成本高，射线对人体有害，需要防护设备。

涡流检测是利用交流电磁线圈，使被测物体内部由于电磁感应形成涡流，由于缺陷的存在和材料的不同会改变电涡流的强弱，从而使得涡流磁场也不同，以此原理来检测工件的缺陷。它能检测钢铁、有色金属和石墨等导电材料的表面和近表面的缺陷，并还能对材料的成分、尺寸形状、热处理的情况及涂、镀层的厚度进行检测。它不受材料的大小及形状限制，检测操作简单，易于实现自动化，成本低、仪器轻巧、便于携带，适于现场检测。其缺点是它只适于导电材料，并易受多种因素影响，检测时干扰大。

上述这些常用的无损检测方法，在实际生产和设备维修中得到广泛地应用，对控制产品质量和保证机械设备安全运行，都起到了非常重要的作用。这些方法中，每种都各有优点和不足的地方，所以，都有其最适宜的检测对象和应用范围。例如射线检测和超声波检测以探测物体内部深层的缺陷为主；涡流、磁粉、渗透检测以探测物体表面和近表面的缺陷为主。在实际应用中，可根据被测工件的特点和要求，选择其中的一种或几种方法配合使用，以使检测得到最佳的效果。

此外，新的无损检测技术也日渐增多，如红外检测技术，

已成功地用于运行车辆的轴温的自动测量,代替了检车人员手摸轴温的方法,具有检测准确、效率高、减轻劳动强度等优点。

铁路运输各部门中,应用无损检测技术也很广泛,如线路钢轨、机车车辆的轴及主要零件、起重工程机械的主要零件均须经过无损探伤检查。实践证明,收到了良好的效果,对铁路运输的安全起到了重大作用,因此受到很大重视。

本章主要介绍常用几种无损检测的基本原理、检测的工艺流程、仪器的使用及每种检测的特点和应用范围。

第二节 磁粉探伤

磁粉探伤是应用较早和较广泛的一种无损检测方法。用它可以发现铁磁材料的零部件表面和近表面的各种缺陷,如裂纹、气孔、夹渣、折叠等。由于磁粉探伤设备比较简单,操作容易,使用效果显著,所以在机械检修中,对关键性机械零件进行探伤检测应用的较多。经探伤的机械零件装配后,可确保机械的可靠性,提高整机的使用寿命,经济效果显著。目前我国已广泛应用于航空、船舶、汽车、工程机械、机械工业、国防等部门。在铁路系统应用也很广泛。例如:应用磁粉探伤探测内燃机车、蒸气机车和车辆的轴、杆等重要部件;对于关键部位的轴,规定不经探伤不能装车使用。在铁路的装卸机械和工程机械的检修中,也在大量应用磁粉探伤,如:检测内燃机的曲轴、连杆、缸体的裂纹,叉车、装载机底盘的传动轴、半轴、门架等部件的缺陷;检测起重机重要焊接件焊缝的质量和缺陷等。

测深度大、灵敏度高、仪器便于携带、成本低、可实现自动化检测；缺点是缺陷性质判断技术难度较大，检测结果不易记录。

射线检测是利用各种射线(主要有 X 射线、 γ 射线和中子射线)对物体的穿透性能不同及物体对射线的衰减程度不同，在感光底片上和荧光屏上所显示的图象来观察判断物体内部的状况和缺陷。它的优点是检测的图象较直观，对缺陷的性质、尺寸判断较准确，并且检测结果可以记录；缺点是不易检测与射线近于垂直的裂纹缺陷，检测成本高，射线对人体有害，需要防护设备。

涡流检测是利用交流电磁线圈，使被测物体内部由于电磁感应形成涡流，由于缺陷的存在和材料的不同会改变电涡流的强弱，从而使得涡流磁场也不同，以此原理来检测工件的缺陷。它能检测钢铁、有色金属和石墨等导电材料的表面和近表面的缺陷，并还能对材料的成分、尺寸形状、热处理的情况及涂、镀层的厚度进行检测。它不受材料的大小及形状限制，检测操作简单，易于实现自动化，成本低、仪器轻巧、便于携带，适于现场检测。其缺点是它只适于导电材料，并易受多种因素影响，检测时干扰大。

上述这些常用的无损检测方法，在实际生产和设备维修中得到广泛地应用，对控制产品质量和保证机械设备安全运行，都起到了非常重要的作用。这些方法中，每种都各有优点和不足的地方，所以，都有其最适宜的检测对象和应用范围。例如射线检测和超声波检测以探测物体内部深层的缺陷为主；涡流、磁粉、渗透检测以探测物体表面和近表面的缺陷为主。在实际应用中，可根据被测工件的特点和要求，选择其中的一种或几种方法配合使用，以使检测得到最佳的效果。

此外，新的无损检测技术也日渐增多，如红外检测技术，

已成功地用于运行车辆的轴温的自动测量,代替了检车人员手摸轴温的方法,具有检测准确、效率高、减轻劳动强度等优点。

铁路运输各部门中,应用无损检测技术也很广泛,如线路钢轨、机车车辆的轴及主要零件、起重工程机械的主要零件均须经过无损探伤检查。实践证明,收到了良好的效果,对铁路运输的安全起到了重大作用,因此受到很大重视。

本章主要介绍常用几种无损检测的基本原理、检测的工艺过程、仪器的使用及每种检测的特点和应用范围。

第二节 磁粉探伤

磁粉探伤是应用较早和较广泛的一种无损检测方法。用它可以发现铁磁材料的零部件表面和近表面的各种缺陷,如裂纹、气孔、夹渣、折叠等。由于磁粉探伤设备比较简单,操作容易,使用效果显著,所以在机械检修中,对关键性机械零件进行探伤检测应用的较多。经探伤的机械零件装配后,可确保机械的可靠性,提高整机的使用寿命,经济效果显著。目前我国已广泛应用于航空、船舶、汽车、工程机械、机械工业、国防等部门。在铁路系统应用也很广泛。例如:应用磁粉探伤探测内燃机车、蒸气机车和车辆的轴、杆等重要部件;对于关键部位的轴,规定不经探伤不能装车使用。在铁路的装卸机械和工程机械的检修中,也在大量应用磁粉探伤,如:检测内燃机的曲轴、连杆、缸体的裂纹,叉车、装载机底盘的传动轴、半轴、门架等部件的缺陷;检测起重机重要焊接件焊缝的质量和缺陷等。

一、磁粉探伤原理

铁磁材料(铁、钴、镍及其合金)置于磁场中,能够被磁化,其内部会有磁力线通过。如果材料内部均匀且截面不变时,则其磁力线方向也是一致和不变的。当材料内部出现缺陷,如裂纹、空洞或非磁性夹杂物等,由于这些部位的导磁率很低,则磁力线便产生偏移,即绕道通过这些缺陷部位。当缺陷与工件表面相通或离工件很近时,则此外偏移的磁力线就会有部分越出工件表面,形成一个局部磁场(或称为漏磁磁场),如图1—1所示。当将磁粉撒向工件表面时,落到局部磁场处,则被漏磁场吸住,于是便可明显地显示出缺陷的所在。

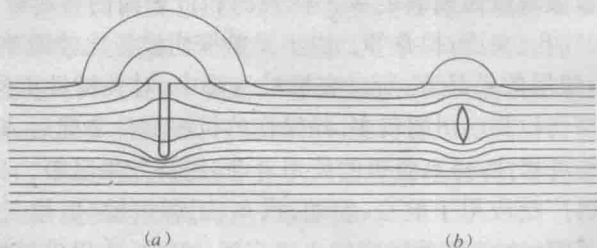


图 1—1 缺陷局部磁场

(a)表面缺陷;(b)内部缺陷。

如上所述,把铁磁性材料磁化后,利用缺陷部位所产生的漏磁场能吸附磁粉的探伤方法,称为磁粉探伤。在探伤中观察到的缺陷部位吸附着的磁粉称为缺陷的磁粉迹痕。

缺陷的漏场强度是同缺陷漏磁的磁通密度成正比的,其强度和分布取决于缺陷的尺寸、缺陷的位置及试件的磁化强度等。漏磁场强度越大,缺陷部位就越容易吸附磁粉。内部缺

陷的漏磁场要比表面缺陷的漏磁场弱,如图 1—1 所示。

二、铁磁材料的磁化方法

(一)铁磁材料的磁性

缺陷部位的漏磁场,除与缺陷的形状、尺寸有关外,还与工件磁化程度有关。所以,检测探伤时为了能得到明显的缺陷磁粉迹痕,必须知道工件的磁化特性。

材料的磁性一般是用磁化曲线($B-H$ 曲线)来表示的。图 1—2 所示是钢铁材料磁化曲线,其横坐标为磁场强度 H (A/m),纵坐标为磁通密度 B (Wb/m²)。它表示了磁场增大和减小时材料的磁化情况。

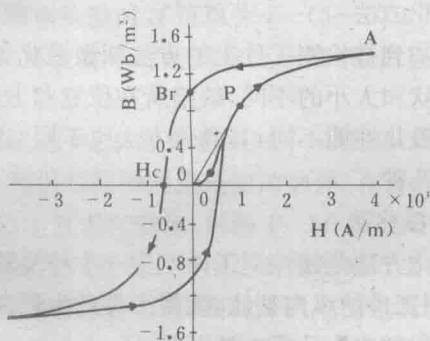


图 1—2 磁化曲线

图 1—2 中磁场强度 H 从零开始增加时,在磁化曲线 OA 上的点 P 与原点 O 连接起来的直线 OP 的斜率,即为该材料的磁导率 μ ,则磁通密度 $B=\mu H$ 。磁导率 μ 可以表明材料磁化的难易程度。钢铁材料的导磁率为非导磁材料的几十倍到几千倍。

当在 A 点处再加磁场强度时,其磁通密度几乎不再增加,即磁化曲线接近水平。我们把这个磁通密度称为饱和磁通密度 B_s ,它表示了材料能达到的最大磁化程度。使材料达到饱和磁化所需要的磁场强度,对剩磁化探伤是很重要的。

由图 1—2 可看到,当磁化达到饱和之后,将磁场强度减为零,这时的磁通密度 B_r 称做剩磁通密度。如果再加反向磁场使磁通密度变为零,这时所需的磁场强度 H_c 叫做矫顽力。剩磁通密度 B_r 和矫顽力 H_c 都是表示剩磁大小的。

铁磁材料的磁性,尤其是磁导率和矫顽力是由材料的化学成分(特别是含碳量)及冷加工和热处理过程中所引起的残余应力大小不同而变化的。一般来说,硬的铁磁材料磁导率较小而矫顽力较大。

(二)磁化方法

将磁场加到被检测工件上的方法叫做磁化方法。根据被检工件的形状和大小的不同,缺陷所在位置和方向不同,以及工件材料的磁化性能不同,其磁化方法也不同。通常将磁化方法分为以下几种。

1. 周向磁化法

这种磁化方法是使被测工件产生一个环绕轴线的周向磁场,用来检测工件的纵向裂纹。能使工件产生周向磁场的方法有轴向通电法和中心孔通电法两种。

(1)轴向通电法:是将两个电极触头放在被检测工件的两端(即将工件置于两极之间),如图 1—3(a)所示。为了使工件与触头接触良好,以提高导电能力和防止产生电弧,触头端面通常都衬有铜垫,并有一触头是做成可伸缩的。安装时将其压缩一定程度,以保持触点与工件的足够压紧力。工件装好以后,便可通电,这样就可在工作件上产生周向磁场。当有纵向裂