

机械裂纹无损检测方法研究分析

王国亮 党龙龙

共享装备股份有限公司 宁夏 银川 750021

摘要: 本文深入探讨了机械裂纹无损检测方法的研究进展与应用现状。通过对机械裂纹形成原因与分类的详细分析,本文系统介绍了当前主流的无损检测技术,包括计算机射线照相技术、磁粉检测法、渗透检测法、超声检测法、涡流检测法以及新兴的检测方法。文章旨在提高机械裂纹检测的准确性与效率,为保障机械设备的安全运行提供科学依据。

关键词: 机械裂纹; 无损检测; 方法

引言

机械裂纹是机械设备中常见的缺陷之一,对设备的安全性和使用寿命构成严重威胁。因此,及时、准确地检测机械裂纹对于保障机械设备的正常运行具有重要意义。无损检测技术作为一种非破坏性的检测方法,能够在不拆卸设备的情况下,对机械裂纹进行有效检测。本文将系统梳理和分析当前机械裂纹无损检测的主要方法,为相关领域的研究和应用提供参考。

1 无损检测的定义与重要性

无损检测(Non-Destructive Testing, NDT),作为一项先进的材料评估技术,其核心在于能够在不损害被检测对象完整性的基础上,巧妙地运用物理原理、化学反应或生物学机制,深入洞察材料的内部构造与性能特征。这一技术的重要性,在机械裂纹检测领域尤为凸显;机械设备,作为工业生产的核心组成部分,其运行状态直接关系到生产效率和作业安全。但长期运行与复杂工况下的机械部件,难免产生微小裂纹,这些潜在的缺陷,往往是设备故障甚至灾难性事故的先兆。无损检测技术的应用,为机械裂纹的早期发现提供了可能。它无需停机拆解,即可实现对设备内部结构的全面扫描,极大地提高了检测的科学性和时效性。通过精确的数据分析,检测人员能够准确判断裂纹的位置、形态及严重程度,为后续的维修决策提供科学依据,有效避免了因盲目拆解而造成的资源浪费和二次损伤。此外,无损检测技术的非破坏性特性,还显著降低了检测过程中的成本风险,保障了机械设备的持续稳定运行,对于提升整体生产效益和确保人员安全具有重要意义^[1]。

2 机械裂纹的形成原因与分类

2.1 机械裂纹的形成原因

机械裂纹的形成是一个复杂且多因素交织的过程,其根源可追溯至材料的制备、部件的设计与制造,以及

机械设备的使用环境等多个方面。(1)在材料制备阶段,诸如冶炼、铸造、锻造和热处理等工艺环节,尽管技术不断进步,但仍难以完全避免产生细小的内部缺陷。这些缺陷,包括但不限于夹杂物、气孔和疏松,它们如同潜伏在材料内部的“定时炸弹”,在后续的机械加工或使用过程中,一旦受到机械应力的作用,便容易成为裂纹萌生的温床。尤其当这些缺陷恰好位于高应力区域时,裂纹的形成与扩展速度将会显著加剧,对材料的整体性能构成严重威胁。(2)机械部件的设计与制造过程中,由于结构形状的复杂性、尺寸的变化以及材料本身的不均匀性,往往会导致某些部位出现应力集中现象。这种应力集中,使得局部区域的应力水平远高于材料的平均应力水平,从而成为裂纹形成的高危区域;在长期的机械应力作用下,这些区域容易发生局部破坏,进而演化为裂纹。(3)机械设备在长期使用过程中,不可避免地会受到周期性或随机性载荷的作用。这些载荷的反复作用,会导致材料发生疲劳损伤;疲劳损伤是一种累积性的破坏过程,它使得材料在远低于其静强度极限的应力水平下,就可能发生破坏。疲劳裂纹通常起始于材料的表面或内部缺陷处,并随着载荷循环次数的增加,逐渐扩展,最终导致机械部件的失效。

2.2 机械裂纹的分类

2.2.1 按形态和位置分类

(1)表面型裂纹:这类裂纹位于机械部件的表面,通常是由于材料表面的缺陷、加工刀痕、腐蚀等因素引起的;表面裂纹较容易被发现,但对部件的强度和寿命也有一定影响。(2)深埋型裂纹:深埋型裂纹位于机械部件的内部,不易被直接观察到;它们可能是由于材料内部的缺陷、应力集中或疲劳损伤等因素引起的;深埋裂纹对部件的强度和安全性构成严重威胁,因为它们在被发现的情况下可能突然扩展导致部件失效。(3)穿

透性裂纹：穿透性裂纹是指裂纹从部件的一侧穿透到另一侧，完全破坏了部件的连续性；这类裂纹通常是由于严重的应力集中、疲劳损伤或外部冲击等因素引起的，对部件的强度和稳定性造成极大影响。

2.2.2 按扩展方式分类

(1) 张开型裂纹（I型裂纹）：这类裂纹在垂直于裂纹面的拉应力作用下扩展，裂纹面相互张开；张开型裂纹是机械部件中最常见的裂纹类型之一，对部件的强度和寿命有显著影响。(2) 滑移型裂纹（II型裂纹）：滑移型裂纹在平行于裂纹面且垂直于裂纹前沿的剪应力作用下扩展，裂纹面沿滑移方向相对滑动；这类裂纹通常出现在承受剪切载荷的部件中，对部件的稳定性和安全性构成威胁。(3) 撕开型裂纹（III型裂纹）：撕开型裂纹在平行于裂纹面和裂纹前沿的撕应力作用下扩展，裂纹面沿撕开方向相对错开；这类裂纹较少见，但在某些特定工况下（如扭转载荷作用）也可能出现，对部件的完整性和功能造成影响^[2]。

3 机械裂纹无损检测方法

3.1 计算机射线照相技术

(1) 计算机射线照相技术，作为机械裂纹无损检测的重要手段，凭借其独特的优势在工业生产中得到了广泛应用。该技术主要利用X射线或 γ 射线作为检测媒介，这些射线具有强大的穿透能力，能够轻易地穿透被检测物体，如金属构件、复合材料等。(2) 在检测过程中，射线源发射出稳定的射线束，穿透被检测物体后，其强度会因物体内部的结构差异而发生变化。这些变化被高精度的探测器捕捉并转化为电信号，进而通过计算机处理，形成直观的图像；操作人员可以通过分析这些图像，准确地判断物体内部是否存在裂纹、缺陷等异常。

(2) 计算机射线照相技术的优点显而易见。第一，其检测范围广，几乎可以覆盖所有类型的机械部件和材料。第二，灵敏度高，即使是微小的裂纹也能被准确检测出来；检测结果直观，操作人员无需复杂的培训即可上手。(3) 该技术也存在一些不足之处。一是设备成本较高，对于中小型企业来说可能是一笔不小的开支；二是射线源具有一定的辐射风险，对操作人员的健康构成潜在威胁；因而，在使用该技术时，必须严格遵守相关的安全操作规程，确保操作人员的人身安全。

3.2 磁粉检测法

(1) 磁粉检测法，作为机械裂纹无损检测领域的一种经典方法，主要依赖于磁性材料在磁场中的特殊磁化性质。当被检测物体表面或近表面存在裂纹时，这些裂纹会构成磁场的不连续区域，从而形成漏磁场。(2) 在

检测过程中，先需要对被检测物体进行磁化，使其达到饱和磁化状态；再将磁粉均匀地撒布在物体表面，在漏磁场的作用下，磁粉会被吸引并聚集在裂纹处，形成明显的磁粉聚集线；通过观察这些聚集线，操作人员可以准确地判断裂纹的位置、形状和大小。(3) 磁粉检测法具有操作简便、成本低廉的显著优点。它不需要复杂的设备，只需简单的磁化装置和磁粉即可进行检测；该方法对表面和近表面的裂纹具有较高的检测灵敏度，能够发现微小的裂纹缺陷。(4) 磁粉检测法也存在一定的局限性。它主要适用于磁性材料的检测，对于非磁性材料则无法有效应用；磁粉检测法只能检测表面和近表面的裂纹，对于深埋于材料内部的裂纹则无法直接检测^[3]。

3.3 渗透检测法

(1) 渗透检测法，作为机械裂纹无损检测的一种重要手段，其工作原理主要基于渗透剂的渗透作用。在实际操作中，首先需要将渗透剂均匀地涂抹在被检测物体的表面；由于渗透剂具有极佳的渗透性能，它能够迅速渗入到物体表面的微小裂纹中。(2) 待渗透剂充分渗入裂纹后，接下来需要使用显像剂。显像剂与渗透剂之间会发生化学反应或物理作用，从而产生明显的颜色变化或荧光效应；这样原本难以察觉的裂纹就会被清晰地显示出来，便于操作人员观察和判断。(3) 渗透检测法的主要优点在于其灵敏度高，能够检测出极微小的表面开口裂纹。同时该方法操作相对简便，不需要复杂的设备和技术；但渗透检测法也存在一些不足之处。一是检测过程相对繁琐，需要涂抹渗透剂、等待渗透、使用显像剂等多个步骤；二是渗透剂和显像剂的使用可能会对环境造成一定的污染，需要采取相应的环保措施。(4) 值得注意的是，渗透检测法主要适用于检测表面开口的裂纹，对于深埋或闭合的裂纹则无法有效检测。所以，在实际应用中，需要根据被检测物体的特点和检测需求，合理选择无损检测方法。

3.4 超声检测法

(1) 超声检测法，作为机械裂纹无损检测领域的一种高级技术，其工作原理基于超声波在物体中的传播特性。超声波，作为一种高频振动波，具有极强的穿透能力和方向性，能够在物体内部传播并携带丰富的信息。(2) 在超声检测过程中，首先通过超声波发生器产生高频振动，并借助换能器将电能转换为机械能，以超声波的形式发射到被检测物体中。超声波在物体内部传播时，会出现特殊的边界和缺陷，由此引起反射、透射和发散的现象；这些信号被接收器捕捉并转换为电信号，进而通过计算机处理和分析，形成直观的图像或数据。

(3) 超声检测法的主要优点在于其检测深度大,能够穿透较厚的物体并检测出其内部的裂纹和缺陷。该方法灵敏度高,能够发现微小的裂纹和缺陷,对材料的性能评估具有重要意义;且超声检测法对材料无损伤,不会破坏被检测物体的结构和性能。(4) 超声检测法也存在一些挑战和限制。一是该方法需要专业的设备和技术支持,对操作人员的技能要求较高;二是超声波在传递过程中要收到许多因素的干扰,如物体的材质、形状、尺寸等,这可能导致信号干扰和误判。于是,在具体使用时,必须充分考虑上述各种因素,并采取相应的方法以增强测试的精度与可靠性。

3.5 涡流检测法

(1) 涡流检测法,作为机械裂纹无损检测的一种高效技术,巧妙地运用了电磁感应原理。当交变电流在经过测量线圈之后,就会在其附近形成一个交变的磁场;如果将此输入线圈靠近被测的金属物,则按照电磁感应的互易性原理,在金属物体内会探测出涡流。(2) 涡流在金属物体内部流动时,会遇到各种阻碍,如裂纹、气孔等缺陷。这些缺陷会改变涡流的流动路径和分布,进而引起涡流参数(如阻抗、相位等)的变化;通过精密的测量仪器,我们可以捕捉到这些细微的变化,并将其转化为可视化的信号,从而准确地判断出裂纹的存在与位置。(3) 涡流检测法的显著优势在于其操作简单、测量速度快,并且对被测量材料无损伤。这一方法特别适用于金属材料的表面和近表面裂纹检测,能够在不破坏材料的前提下,迅速发现潜在的缺陷;但涡流检测法也有其局限性,它主要适用于金属材料,对于非金属材料的检测效果则大打折扣;对于深埋于材料内部的裂纹,涡流检测法的检测能力也相对有限。(4) 在实际应用中,我们需要根据被检测物体的材质、形状以及检测需求,合理选择涡流检测法或其他无损检测方法。为了提高检测的准确性和可靠性,我们还可以将涡流检测法与其他检测方法相结合,进行综合评估^[4]。

3.6 新兴检测方法

在机械裂纹无损检测领域,随着科技的持续进步,一系列新兴检测方法正逐步崭露头角,为行业带来了新

的活力;红外热成像技术、激光扫描技术以及声发射技术尤为引人注目。(1) 红外热成像技术,基于物体表面温度分布的差异,通过红外热像仪捕捉并转化为可见图像,从而揭示出潜在的裂纹和缺陷。此方法非接触、检测速度快,且对材料无损伤,特别适用于大面积、快速筛查的场景。(2) 激光扫描技术,则利用激光束的高精度和方向性,对被检测物体进行扫描,通过分析激光与物体表面的相互作用,如反射、散射等现象,来检测裂纹和缺陷。该方法具有极高的分辨率和灵敏度,能够发现微小的裂纹,但设备成本相对较高。(3) 声发射技术,是通过监测材料在受力过程中产生的声波信号,来判断裂纹的产生和扩展。此方法对材料的动态性能评估具有重要意义,但信号处理和分析的复杂性较高。(4) 尽管这些新兴检测方法在机械裂纹无损检测中展现出巨大的潜力,但它们的技术成熟度和应用范围仍需进一步的研究和验证。例如,红外热成像技术可能受到环境温度和物体表面状态的影响;激光扫描技术则对设备的稳定性和操作人员的技能要求较高;声发射技术则需要建立准确的信号处理和分析模型。

结语

机械裂纹的无损检测是保障机械设备安全运行的重要手段。本文系统介绍了当前主流的无损检测方法及其优缺点,为相关领域的研究和应用提供了参考。未来,随着科技的不断进步和创新,无损检测技术将在机械裂纹检测中发挥更加重要的作用。同时,也需要不断探索和研究新的检测方法和技术,以满足不同领域对机械裂纹检测的需求。

参考文献

- [1] 谭宁,王培江.机械设备维修中无损检测技术的应用探析[J].魅力中国,2020,(18):371-372.
- [2] 周月洋.探析机械设备维修中无损检测技术的应用[J].探索科学,2020,(10):76-78.
- [3] 张欢.探讨机械零件无损检测的常见方法[J].科技创新与应用,2020(28):172-173.
- [4] 张凤敏.浅谈机械零件缺陷的无损检测方法发展趋势[J].科技与企业,2020(03):206+209.