

# 无损检测技术在机械制造领域的应用与发展

付东亮

苏州热工研究院有限公司 江苏 苏州 215000

**摘要:** 无损检测技术是现代机械制造业中不可或缺的重要方法,随着科技的进步和市场对机械产品质量要求的日益提高,无损检测技术在机械制造领域中的应用也越来越广泛。本文就无损检测技术在机械制造领域的应用与发展进行探讨。常见的无损检测技术包括射线检测、超声波检测、涡流检测、渗透检测和磁粉检测等。随着科技的不断发展,无损检测技术将向数字化、智能化、自动化方向发展,更好地满足机械制造领域的需求。

**关键词:** 无损检测; 机械制造; 应用; 发展

## 1 无损检测技术概述

无损检测技术在机械制造领域具有重要的应用价值和地位。它可以用于检测机械零件的内部和外部缺陷,如裂纹、气孔、疏松、折叠等,从而确保机械零件的质量和性能。在机械制造过程中,无损检测技术可以大大提高机械零件的制造精度和质量水平,从而降低生产成本和维修费用。目前,无损检测技术在机械制造领域中得到了广泛的应用和发展。其中,超声波检测、射线检测、磁粉检测、涡流检测等是无损检测技术的常用方法<sup>[1]</sup>。这些方法可以针对不同材质和大小的机械零件进行检测,并能有效地检测出零件中的缺陷和问题,及时采取措施进行修复,以确保机械零件的质量和性能。

## 2 无损检测技术在机械制造中的应用

### 2.1 提高产品质量

在生产流程中进行无损检测,可以及时发现产品表面缺陷、裂纹、异物等问题,避免次品和废品的产生,确保产品的质量和使用寿命。

### 2.2 保障产品的安全可靠

无损检测技术可以检测到隐藏在内部的缺陷或问题,如隐蔽的焊缝裂纹等,保证机械制品的安全可靠性。

### 2.3 节约维修和更换成本

无损检测技术可以及早发现问题,并采取相应的维修措施,避免因问题放大而导致更换整个零部件或机械设备的成本。

### 2.4 提高生产和效率

无损检测技术可以准确、快速地检测产品的质量,降低了返工率和废品率,提高了生产效率。在机械制造领域,无损检测技术的另一个应用是对大型机器制造过程中产生的缺陷的识别检测。无损检测技术可以用于检测金属材料中的缺陷、裂纹和气孔等问题,确保金属制品的质量和寿命<sup>[1]</sup>。特别是在复杂结构的机械零部件的制

造过程中,无损检测技术更是不可或缺的一项技术。

随着无损检测技术在机械制造领域中的应用和发展,该技术在机械制造行业中的作用和意义越来越受到重视。同时,我们也需要注意到该技术在实践中还存在着许多不足和问题,不断地研究和提升无损检测技术的水平和应用能力,才能更好地面对机械制造行业中的挑战和发展。

## 3 无损检测方法

### 3.1 射线检测 (RT)

射线检测 (Radiographic Testing, RT) 是指用X射线或γ射线穿透试件,以胶片作为记录信息的器材的无损检测方法,该方法是最基本的,应用最广泛的一种非破坏性检验方法。

射线能穿透肉眼无法穿透的物质使胶片感光,当X射线或γ射线照射胶片时,与普通光线一样,能使胶片乳剂层中的卤化银产生潜影,由于不同密度的物质对射线的吸收系数不同,照射到胶片各处的射线强度也就会产生差异,便可根据暗室处理后的底片各处黑度差来判别缺陷。

射线检测可以直接针对检测的工件形成直接的影响,并且进行定量和定性的检测,结果相对来说也更加准确检测的结果能够长期存储。但总体成本相对较高,而且射线对人体有害,检验速度会较慢,还会出现漏检的情况。

### 3.2 超声波检测 (UT)

超声检测 (Ultrasonic Testing, UT) 通过超声波与试件相互作用,就反射、透射和散射的波进行研究,对试件进行宏观缺陷检测、几何特性测量、组织结构和力学性能变化的检测和表征,并进而对其特定应用性进行评价的技术。适用于金属、非金属和复合材料等多种试件的无损检测;可对较大厚度范围内的试件内部缺陷进行检测。如对金属材料,可检测厚度为1~2mm的薄壁管材和板材,也可检测几米长的钢锻件;而且缺陷定位较准

确,对面积型缺陷的检出率较高;灵敏度高,可检测试件内部尺寸很小的缺陷;并且检测成本低、速度快,设备轻便,对人体及环境无害,现场使用较方便。

超声波检测安全性高,在检测过程中危险性较小,操作过程简单方便,穿透能力比较强,检测更加灵敏,能够直接检测出缺陷的深度及大小。但其对具有复杂形状或不规则外形的试件进行超声检测有困难;并且缺陷的位置、取向和形状以及材质和晶粒度都对检测结果有一定影响,检测结果也无直接见证记录。

### 3.3 涡流检测(ET)

涡流检测(Eddy Current Testing, ET)是一种电磁无损检测技术,通过感应电流在测试对象表面识别并评估缺陷。涡流检测的原理:当交变电场作用于导体上时,导体内将诱发出一些涡流,涡流同时也会产生一个反向的磁场。这个反向的磁场将妨碍原磁场的扩散,并使磁场渐渐衰减,同时,因为涡流的存在,磁场的强度等参数会随着缺陷而变化。检测员可通过测量导体表面磁场的变化率及其衰减程度,判断材料中是否存在缺陷。涡流检测广泛应用于机械制造领域中,例如蒸发器、热交换器、管道、飞机零件、汽车部件、轨道交通技术等;检测各种金属材料,如铁、钢、铝等及温度较高的高温合金;此外,还可以检测金属材料的表面缺陷、厚度测量、探测管道内部的缺陷等。

涡流检测的优点是速度快,可以实时在线监测,不会损坏被检测材料,线圈不需与被测物直接接触,可进行高速检测,易于实现自动化。涡流检测的缺点是检测深度有限,仅能检测导电材料的表面和近表面缺陷,同时数据的处理需要经过专门的软件和计算机技术的支持<sup>[2]</sup>,不适用于形状复杂的零件,而且检测结果也易于受到材料本身及其他因素的干扰。

### 3.4 渗透检测(PT)

渗透检测(Penetrant Testing, PT)主要用于检测金属和非金属材料表面和开口缺陷。这种方法适用于薄壁构件,例如机翼,罐体、轮毂等。渗透检测主要使用液体检测介质,将其喷洒在被检测构件表面上,通过对渗透液的工艺处理和评估,检测出构件表面的裂缝、孔洞、裂纹等缺陷。渗透检测的检测过程分为四个基本步骤:清洗、涂覆渗透剂、清洗和显像。首先,需要对被测材料进行清洗,以将表层的污物或弱磁场等杂质去除。然后,将渗透剂涂覆于被检测表面,包括露出的缺陷表面。渗透液需要在被测材料表面停留一段时间,以便材料中的液体可以渗透到材料的表层,填充材料表层

裂缝和缺陷。然后再进行清洗,以充分清除表层外的杂质和多余液体。最后,通过吸收X-光线或在紫外线照射下检查有无渗透剂的那些各种裂口和缺陷,以确定缺陷位置和情况<sup>[3]</sup>。

渗透检测方法的优点是检测灵敏度高、可以检测到非全封闭缺陷、检测结果直观、简单易操作,而其缺点则是只能检测材料表面及一定深度之内的缺陷,以及对环境的影响不可忽视(例如,对操作场地的要求比较高)。PT主要适用于航空航天、汽车、轨道交通、船舶、军工等行业。

### 3.5 磁粉检测(MT)

磁粉检测(Magnetic Particle Testing)主要用于检测金属材料表面或近表面的小缺陷、微裂纹、气孔和剥落等缺陷,可以检测出像开裂、断口、杂质等在纯金属材料中几乎无法被发现的缺陷。使用磁粉检测技术可以快速、准确地识别和判断零件的缺陷情况,避免缺陷给生产和使用安全带来的危害。

磁粉检测技术的原理是将磁性材料粉末涂覆在金属表面,金属表面所存在的裂纹或缺陷会使得粉末容易受到磁场的影响并留下磁荷余留,这样,就会在缺陷表面形成一个“磁黑点”,从而使缺陷处更显眼,便于人眼观察<sup>[1]</sup>。

磁粉检测具有以下四个优点:

- (1) 磁粉检测对检查对象没有损伤,操作简单,易于掌握;
- (2) 可以探测微小瑕疵,探测灵敏度高,效率高,适用范围广;
- (3) 检查不受工作台面和检测环境的限制;
- (4) 磁粉检测是一种比较经济实惠的检测方法,许多缺陷的识别可以在较短的时间内完成。

磁粉检测的局限性主要有以下两点:

- (1) 磁粉检测需要使用特定的磁场装置和磁性粉末,可能会对环境造成不好的影响;
- (2) 磁粉检测技术对检测人员的技能和经验要求较高,不加掌握和熟练操作技能的人员,会对检测结果造成直接影响。

磁粉检测技术作为一种有效的无损检测方法在机械制造等领域得到广泛应用,但需要专业的技术支持和合理的应用,才能取得良好的检测效果。

### 3.6 目视检测(VT)

目视检测(Visual Testing, VT)是无损检测中最简单、最常用的方法之一<sup>[4]</sup>。目视检测的检测结果直接受人员视野、视力、关注度和经验等因素的影响,因此需要

经过专门培训和取得无损检测资格证书的检测人员进行检测。目视检测可以对目标进行外观检查、尺寸检查、体积或表面缺陷检查等,也可以进一步分类为裸眼检测、辅助装置检测或显微镜检测。在工业领域,目视检测广泛应用于金属、塑料、玻璃等制品的生产过程中,可以检测零件的尺寸、形状、表面的瑕疵、裂纹、腐蚀等问题,以及电子元器件、电线、电缆的质量和外观等。虽然目视检测是最简单和经济的无损检测方法,但也有其局限性。因为它只能检测物体表面的缺陷,对于内部缺陷或不可见的缺陷无法进行检测。此外,由于目视检测很大程度上依赖于检测人员的工作经验和视力条件,因此不可避免地存在误判的可能性。因此,为了提高检测精度和可靠性,通常需要与其他无损检测方法结合使用,如超声波检测、磁粉探伤等,形成多层次、多角度的全面检测体系<sup>[5]</sup>。

#### 4 无损检测技术在机械制造上的发展趋势

未来,随着机械产品的复杂化和越来越高的质量要求,无损检测技术的应用将会越来越广泛,并将更加注重新自动化和信息化。

##### 4.1 自动化和智能化

随着计算机技术、控制技术和人工智能等的不断发展,无损检测技术的自动化和智能化程度将不断提高,检测精度和效率也会进一步提高。

##### 4.2 多模态检测技术

多模态检测技术即联合多种无损检测技术进行检测,可以提高检测的准确性、可靠性和全面性;同时,这种技术也可以通过一定的数据融合算法进行处理,使检测结果更加准确。

##### 4.3 数字化技术

数字化技术包括三维扫描技术、成像技术和数字化数据处理技术等,可以提高检测的精度和效率,新型数字化检测设备能够快速地对检测结果进行数字化处理,使得数据可视化和分析、统计更为方便<sup>[4]</sup>。

#### 5 机械制造在核电系统中的应用

机械制造在核电系统中的应用非常重要,核电是一种高端的能源产业,对机械制造技术的要求也更高。机械制品的制造质量和设备的安全可靠性对核电厂的运行和安全影响非常大,这就需要无损检测技术的精确和可靠,保证设备的正常运行和生产效益。

从机械制造方面来说,包括端盖、轴承、壳体等零部件,质量的好坏将会直接影响核电站的整个待机和运行时间。其中,无损检测技术的作用是在制造过程中对零件进行检测,避免触发危害性事故,可以有效提高核电设施的出产质量,提高核电厂的运行安全性。换言之,

在机械制造过程中,假如未采用无损检测技术,到项目实际运行时发现质量上存在问题,将会存在非常严重的生产和安全隐患<sup>[5]</sup>。

无损检测技术在机械制造业应用的重要性越来越突出,尤其在对关键零部件和设备进行质量检测方面,无损检测技术的应用价值更为凸显,也正是这些应用,保证了核电站的安全可靠性,更好地满足了公众的能源需求和抵御全球气候变化。同时,在核电站由于其特殊的应用环境,无损检测技术的精度、效率和自动化程度更要求提高。所以,无损检测技术在机械制造业的发展也更具挑战性和创新性。

核电站的设备在使用过程中,也需要进行不断的监测和识别,以发现可能的问题或者故障。总的来说,机械设备在核电系统中的应用非常重要,无损检测技术在核电设施的制造、待机和运行过程中都发挥着重要作用。随着科学技术的进步和产业的升级,无损检测技术必将不断地创新发展,更好地服务于人类的生产和生活,也为技术创新及经济的发展做出新的贡献。

#### 结束语

随着科技的不断发展,无损检测技术在机械制造领域中还将得到更广泛的应用和发展,将结合机器人技术、人工智能等新技术,提高机械零件检测效率和准确率。此外,无损检测技术也将逐步向数字化、智能化、自动化方向发展,从而更好地满足机械制造领域的需求。除上述常规无损检测方法,还包括:声发射检测(AE)、热像/红外(TIR)、泄漏试验(LT)、交流场测量技术(ACFMT)、漏磁检验(MFL)、远场测试检测方法(RFT)、超声波衍射时差法(TOFD)等非常规无损检测方法。未来,我们可以期待更多创新的无损检测技术的出现,同时也需要加强相关维护工作以确保其良好的运行状态。无损检测技术的发展将有助于提高机械制造业的生产效率和质量,推动整个行业的发展和进步。

#### 参考文献

- [1]张辉,张邹铨,陈煜嵘,等.工业铸件缺陷无损检测技术的应用进展与展望[J].自动化学报,2022,48(4):935-956.
- [2]张元良,张洪潮,赵嘉旭,等.高端机械装备再制造无损检测综述[J].机械工程学报,2013,49(7):80-90.
- [3]俞旭萍.无损检测技术在机械制造上的应用价值与发展[J].化工管理,2019(26):151-152.
- [4]胡强,陈家星.无损检测技术在机械焊接结构件缺陷检测中的应用分析[J].科技与创新,2022(3):91-93,97.
- [5]王以环.建筑设备维修再制造无损检测技术研究[J].工程机械与维修,2022(4):30-32.