

磁粉探伤原理及其在水利工程检测中的质量控制因素

王银军

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司，新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要： 磁粉探伤检测是一种常用的无损检测方法，在水利工程质量检测中发挥着重要的作用。本文从磁粉探伤的基本原理出发，分析该技术的优势，阐述水利工程中磁粉探伤的基本步骤，并重点探讨影响水利工程磁粉探伤检测质量的各种因素，包括人员资格、设备质量、材料质量、检测工艺以及检测环境等方面的控制要点，为进一步提高水利工程磁粉探伤检测质量提供参考。

关 键 词： 磁粉探伤；无损检测；水利工程；质量控制

Principle of Magnetic Powder Flaw Detection and Its Quality Control Factors in Water Conservancy Engineering Detection

Wang Yinjun

Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract： Magnetic particle flaw detection is a commonly used nondestructive testing method, which plays an important role in the quality detection of water conservancy projects. Starting from the basic principle of magnetic particle detection, analyzing the advantages of the technology, expounds the basic steps of magnetic particle detection in water conservancy project, and discusses the various factors affecting the quality of hydraulic engineering magnetic particle detection, including personnel qualification, equipment quality, material quality, testing process and detection environment, and provide reference for further improving the quality of magnetic particle detection in water conservancy project.

Keywords： magnetic powder flaw detection; non-destructive testing; water conservancy project; quality control

引言

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，其质量直接关系到工程的安全运行和使用寿命。为保障水利工程质量，在建设和运维过程中需要采用各种检测手段对工程的关键部位和薄弱环节进行全面检测。磁粉探伤作为一种常用的无损检测方法，凭借其直观、快速、灵敏度高等优点，在水利工程质量检测中得到广泛应用。本文将系统阐述磁粉探伤技术的原理和优势，介绍水利工程磁粉探伤的具体步骤，并重点分析影响检测质量的各种控制因素，为提高水利工程磁粉探伤检测质量提供有益参考。

一、磁粉探伤原理及优势

（一）磁粉探伤的原理

磁粉探伤是利用铁磁性材料的漏磁现象来检测材料表面和近表面缺陷的一种无损检测方法。当含有缺陷的铁磁性工件被磁化时，在缺陷处因磁阻增大而使磁力线发生畸变，在缺陷两端形成磁极，产生磁粉吸附。通过在工件表面喷洒磁粉或磁悬液，磁粉会在缺陷处聚集形成可见的磁痕指示，从而实现缺陷的检出。通过观察磁痕的形状、大小、方向等特征，可对缺陷的性质和严重程度做出判断^[1]。

（二）磁粉探伤的优势

1. 直观性强

磁粉探伤技术最显著的优点之一就是检测结果具有极强的直

观性。当工件存在表面或近表面缺陷时，施加磁场后，缺陷处因磁导率的不连续性而产生磁漏场，吸附磁粉形成可见磁痕。通过肉眼或放大镜观察磁痕的形状、尺寸、方向和分布特征，即可直接判断缺陷的类型、位置、大小和延伸方向等关键信息，为缺陷的定性定量分析提供直观依据^[2]。与其他一些无损检测方法相比，磁粉探伤不需要复杂的信号处理和数据分析，检测结果判读直截了当，大大降低对操作人员专业技能的要求，提高检测效率和可靠性。

2. 适用性广

磁粉探伤技术具有良好的适应性，对被检工件的材质、形状和尺寸要求相对宽松。只要是铁磁性材料制成的工件，如碳钢、低合金钢、铸铁等，都可以采用磁粉探伤进行有效检测。同时，由于磁粉探伤是一种无接触检测方法，对工件表面的粗糙度不敏

感,即便存在一定的锈蚀、氧化皮或应力集中,也不会显著影响检测效果。此外,磁粉探伤设备轻便灵活,现场实施方便,特别适合用于大型构件和复杂部件的抽样检验或全面检查,如水利工程中的闸门、启闭机、压力钢管、钢板桩等关键结构,都能方便地开展现场磁粉无损检测,满足不同工程对象和检测需求的适用性要求。

3. 安全性高

与射线探伤等其他无损检测方法相比,磁粉探伤的安全性能更为突出。磁粉探伤所使用的磁粉材料和悬浮液对人体无毒无害,不会对作业人员的身心健康造成危害。在检测过程中也不会产生放射性物质、有毒气体或其他危险品,对作业环境无污染。磁粉探伤设备所采用的磁化方式通常为低压电流通过线圈产生磁场,安全可靠,不会引发漏电、起火等安全事故。对被检工件而言,磁粉探伤属于真正的无损检测,不会对工件的组织结构和性能产生任何损伤和不利影响,检后工件可直接投入使用而不必修复^[9]。因此,在各种工程检测场合,尤其是现场作业环境,磁粉探伤凭借其高度的安全性和无损性,正越来越多地得到应用。

二、水利工程中磁粉探伤检测的基本步骤

(一) 检测准备

磁粉探伤检测的首要步骤是做好充分的准备工作。首先要对被检工件进行必要的表面处理,清除影响磁粉运动和观察的各种污物,如油脂、锈蚀、焊渣、氧化皮等。处理后的待检表面应洁净光滑,无明显凹凸,同时保持一定的粗糙度,以利于磁粉吸附。对于焊缝探伤,需要将焊缝及其两侧至少25mm范围内打磨到金属光泽。同时要认真分析工件的材质、形状、尺寸特点,预判可能存在的缺陷类型、方位、数量,据此选择合适的磁化方式、磁粉类型和探伤器材,制定周详的检测方案。通过前期准备,为后续高效、高质地开展探伤工作奠定基础。

(二) 磁化过程

选定磁化方式后,就要对工件施加磁场,使其磁化到接近或达到磁饱和状态。具体施磁时,要严格控制电流、频率、极距等参数,提供足够强度的磁场。对于几何形状复杂的工件,磁化布置要因地制宜,必要时可采用多组线圈配合。需要注意的是,施磁时要同步喷施磁粉悬液,使其均匀覆盖工件表面并充分渗透缝隙。喷粉时间一般持续1~3秒,磁化开始后继续喷粉,直至磁粉运动停止。观察磁粉在液体载体中的运动情况,如呈现规则的定向流线,且能在缺陷处快速聚集束,则表明磁化效果理想。如果磁粉杂乱无章或聚集缓慢,则要考虑是否存在欠磁或过磁,及时调整施磁参数。反复几个循环后,仔细观察工件各处的磁痕分布情况,初步判断是否存在可疑缺陷指示。

(三) 缺陷观察与记录

待磁粉运动基本停止后,就要在良好的光照条件下,借助放大镜等工具,仔细检查工件表面的磁痕分布情况,判断其是否预示着真正的缺陷。首先要满足照明的基本要求,一般自然光照度

不低于1000lx。然后要对照图谱,观察磁痕的形态、尺寸、数量、位置等特征,初步判别缺陷类型。除观察缺陷的定性特征外,还要尝试测量缺陷的定量参数,如长度、宽度、深度等,用于判定缺陷的严重程度。一旦发现可疑磁痕,都要如实记录下来,绘制磁痕分布图并拍照存档,必要时可使用不同颜色笔在工件上描绘和标注,以备复查。记录内容要完整规范,至少包括工件编号、材质、规格、检测日期、检测人员、检测设备、检测参数、缺陷类型、缺陷数量、最大缺陷尺寸、缺陷分布位置、现场环境等要素^[4]。

(四) 结果评估与后续处理

缺陷观察和记录完成后,并非检测过程的终点。探伤人员还需要对照验收标准和图谱,对观察到的磁痕进行分级评定。评定结果要及时反馈给工艺、设计、制造等相关部门,商讨后续改进措施。检测报告应详细记录缺陷情况和质量评定结果,可作为产品质量的重要依据。检测完成后还要及时清理工件表面残留的磁粉等污物,必要时进行消磁处理。探伤设备和器材也要复位、清洁、维护,为下一轮检测做好准备。定期对探伤过程开展复盘分析,查找薄弱环节,优化工艺流程,才能不断提高探伤质量,更好地服务于水利工程质量安全。

三、磁粉探伤在水利工程检测中的质量控制因素

(一) 人员资格的控制

磁粉探伤质量的稳定与提升离不开一支素质过硬、技术精湛的检测队伍。检测人员是磁粉探伤的直接实施者和判断者,其专业水平和职业素养直接影响检测过程的规范性和检测结果的可靠性。为保证检测人员具备相应的理论知识和实践技能,必须建立健全的人员资格管理制度。

一般来说,磁粉探伤人员可分为初级、中级、高级三个等级^[6]。初级人员经培训合格后,可在有经验人员指导下从事设备操作、磁粉施加、磁痕观察等辅助性工作;中级人员需要具备一定的的工作经验,能够独立完成常规检测任务,判读和记录检测结果;高级人员要求具有丰富的一线检测和管理经验,能够制定和优化检测工艺,指导和审核检测报告,处理疑难问题等。为保证检测人员持续符合资格要求,应定期组织理论学习、技能训练和资格复审,同时配合做好职业健康管理,每年至少进行一次视力检查,对色觉、视敏度等指标提出硬性要求,发现问题及时调整工作岗位,确保人员素质满足检测工作需要。

(二) 设备的质量控制

磁粉探伤设备是开展检测工作的物质基础,其性能的优劣直接关系到检测质量的高低。因此,必须加强对磁粉探伤设备及其附属装置的质量控制,定期开展计量检定和性能校验,及时淘汰落后设备,更新先进装备,为检测工作提供可靠保障。根据有关标准和规范要求,磁粉探伤机应定期测试饱和电流、剩磁强度、通电时间、紫外光辐照度等关键参数,偏差超出允许范围的要及时调整或维修。

用于缺陷评估的尺寸测量工具应送有资质的计量机构校准,

并在检测前进行验证。对磁轭、线圈等附件进行定期检查和性能确认，及时更换磨损或损坏部件。值得一提的是，对于测量磁场强度的高斯计等专用仪器，要严格管控使用环境条件，每半年校准一次，控制示值误差不超过10%^[6]。通过建立设备台账和维护记录，规范设备操作和维护流程，可有效延长设备使用寿命，降低检测成本，提高检测质量，为水利工程安全提供坚实保障。

（三）材料的质量控制

磁粉探伤质量的稳定性还与检测耗材的质量密切相关。磁粉是显示缺陷的关键物质，其粒度、颜色、磁性能等直接影响缺陷检出的灵敏度和可靠性。悬浮液则是磁粉赖以搬运和分散的载体，其粘度、润湿性、耐蚀性等也与检测质量休戚相关。因此，必须加强对磁粉和悬浮液的质量控制，建立可靠的供应链管理机制。

供货时，要向厂家索取质量合格证明和相关检测报告，进行全项验收或抽样复检。入库前，质检人员要对磁粉的外观、流动性、颜色、磁性等感官指标进行目测，并留存样品，作为后续质量跟踪和污染对比的基准。对于悬浮液，要采用目视法、比重计法等手段检查其浓度、稳定性、抗蒸发性等性能指标，必要时送专业机构进行成分分析和性能测试^[7]。对于使用中的耗材，要定期评估其检测效果，通过使用对比试块测试磁痕质量，对照验收标准确认是否需要更换。通过严把采购关、储存关、使用关，确保检测材料始终处于最佳状态，从源头上控制检测质量。

（四）检测工艺的控制

磁粉探伤的质量控制还体现在严谨规范的检测工艺和操作规程上。由于水利工程构件种类繁多，缺陷特征各异，需要针对不同检测对象和目的，制定个性化的检测方案和质量控制措施^[8]。检测工艺文件的编制要符合相关标准规范，由有资质、有经验的工程技术人员主持，经审核批准后组织实施，并根据实际情况持续优化改进。

现场检测时，要严格遵照规程要求进行每一道工序，将影响检测质量的各项因素控制在合理范围内。如磁化方式的选择要综合考虑工件的材质、形状、尺寸以及缺陷的类型、方位等因素，

合理设置磁化电流、频率、角度、时间等参数，避免欠磁或过磁。两次检测之间应留有一定的重叠区，但重叠度不宜过大，以提高检出概率和检测效率。唯有如此，才能切实提高检测效率和检出率，规避或减少漏检误判，为工程质量安全提供可靠的判断依据。

（五）检测环境的控制

检测环境条件的优劣直接制约着磁粉探伤的灵敏度和可靠性，是影响检测质量的又一重要因素。照明和温湿度是环境控制的两大核心要素^[9]。照明方面，要根据采用的磁粉类型，合理设置光源种类、数量、功率和布局方式，提供均匀充足的可见光或紫外光照明，避免眩光和阴影的干扰。一般要求白光亮度不低于1000lx，紫外光在距表面380mm处的辐照度不低于1200 μ W/cm²。要定期检查和更换光源，确保其亮度和性能达标。

温湿度方面，要尽量将检测场所设置在温度适宜、湿度适中、洁净卫生的环境中，必要时配备恒温恒湿设施^[10]。定期开展环境综合治理，及时清扫积尘，去除杂物，消除噪音，改善通风，为检测工作营造安全文明、规范有序的环境氛围。同时加强对环境条件的在线监测和考核，对偏离控制指标的情况及时预警和处置，把环境因素引起的检测质量问题消除在萌芽状态，切实维护检测工作的科学性和公正性。

四、结束语

磁粉探伤作为一种直观、快速、灵敏的无损检测方法，在水利工程质量检测中具有广阔的应用前景。但是，要充分发挥磁粉探伤的优势，必须严格控制检测的各个环节和影响因素，形成规范、完善的质量保证体系。这需要检测单位增强质量意识，完善管理制度，加强人员培训，改进工艺装备，优化作业环境，切实提高检测数据的准确性、可靠性和可追溯性。只有不断提升磁粉探伤的检测水平和质量控制能力，才能更好地服务于水利工程建设，为保障工程安全和促进国民经济发展做出应有贡献。

参考文献

- [1] 甘仲文. 磁粉探伤原理及其在水利工程检测中的质量控制因素 [J]. 大众标准化, 2023(13): 172-174.
- [2] 邓娟丽. 水利工程检测中的管理问题及改善对策分析 [J]. 2023(19): 150-152.
- [3] 张涛. 关于水利工程检测中的管理问题及改善对策分析 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021(7): 2.
- [4] 王春燕. 水利工程检测中的管理问题及对策 [J]. 水电水利, 2021, 5(5): 1-2.
- [5] 王金锋. 水利工程进度管理的影响因素及改善策略 [J]. 水上安全, 2023(4): 191-193.
- [6] 潘付忠. 水利工程进度管理的影响因素及改善策略 [J]. 砖瓦世界, 2020(60): 0194-0194.
- [7] 代世超, 刘婷. 水利工程施工管理现状和改善策略 [J]. 水电水利, 2022, 6(2): 146-148.
- [8] 黄泽光. 水利工程中无损检测技术的应用探究 [J]. 水上安全, 2023, (08): 157-159.
- [9] 赵鹏飞. 无损检测技术在水利工程质量检测中的应用研究 [J]. 低碳世界, 2022, 12(12): 76-78.
- [10] 葛祥凯, 张悦, 杨昊, 等. 磁粉检测技术应用及发展 [J]. 无损探伤, 2022, 46(02): 18-22.