

水利工程设备监造中的无损检测技术应用

许 贝

郑州国水机械设计研究所有限公司 河南 郑州 450044

摘 要：水利工程设备质量直接关乎工程安全与运行稳定性，监造环节是质量管控的关键。本文聚焦无损检测技术在水利工程设备监造中的应用，先明确水利工程关键设备类型及监造重点，分析监造对检测技术的核心要求与无损检测适配性；再梳理超声、射线等常用无损检测技术核心要点；最后探讨该技术在原材料、制造过程、装配与出厂等监造环节的具体应用。研究旨在为水利工程设备监造提供科学的无损检测技术应用依据，提升监造质量与效率。

关键词：水利工程设备；监造；无损检测技术；具体应用

引言：随着水利工程建设规模化、智能化发展，对工程设备的质量要求愈发严苛。设备监造作为保障设备质量的前置性关键环节，其检测技术的科学性与适用性直接影响监造效果。传统检测技术存在破坏性、检测盲区等局限，难以满足水利工程设备全流程监造需求。无损检测技术凭借非破坏性、全面性等优势，逐渐成为监造核心技术支撑。基于此，本文系统研究水利工程设备监造中的无损检测技术应用，明确技术要点与各环节应用规范，为破解监造中的质量检测难题、提升工程设备整体质量提供理论与实践参考。

1 水利工程关键设备类型及监造重点

1.1 水利工程关键设备类型

水利工程关键设备类型可依据工程核心功能划分为三大类，分别是水力机械类、水工金属结构类与配套控制设备类。水力机械类聚焦水流能量转换与输送核心需求，是实现工程输水、发电等基础功能的核心载体；水工金属结构类承担挡水、泄水、通航等关键任务，直接关联工程防洪安全与运行效率；配套控制设备类为各类设备运行提供动力支撑与智能调控，保障设备自动化运行稳定性。

1.2 水利工程关键设备监造重点

水利工程关键设备监造重点围绕质量管控全流程展开，核心聚焦三大核心维度。（1）为设计符合性核查，重点验证设备参数与工程实际需求的匹配度，保障设计方案的科学性与可行性；（2）为制造过程管控，聚焦核心工序的工艺规范性，强化对材质选用、加工精度等关键环节的把控；（3）为性能可靠性验证，严格按照行业标准开展系统性测试，确保设备各项性能指标达标，从源头规避运行风险，保障工程长期稳定运行^[1]。

2 水利工程设备监造对检测技术的要求与无损检测适配性

2.1 监造环节对检测技术的核心要求

水利工程设备监造环节对检测技术的核心要求体现在以下几个层面。（1）精准性要求检测技术能够准确识别设备材质缺陷、加工偏差等质量问题，生成可靠的检测数据，为监造质量判定提供科学依据。（2）安全性要求检测过程不对设备性能产生负面影响，不干扰后续制造工序的正常开展。（3）考虑到水利工程设备制造环境复杂，检测技术还需具备较强的环境适应性，能够应对高湿度、多粉尘等现场条件，保障检测结果的稳定性。（4）检测结果的可追溯性也是核心要求之一，需形成完整的检测数据记录，为监造全流程质量管控提供可核查的依据。

2.2 无损检测技术在监造中的适配性优势

无损检测技术与水利工程设备监造需求具备高度适配性，核心优势集中于非破坏性、全面性与高效性三大维度。非破坏性特质可在完整保留设备构件结构完整性的前提下完成检测，避免传统破坏性检测对设备造成不可逆损伤，契合监造阶段对设备本体保护的核心诉求。其检测范围能够覆盖设备表面、近表面及内部缺陷，可实现对设备质量隐患的全方位排查，弥补了传统检测手段难以探测内部缺陷的局限。该技术操作灵活且检测效率高，能够适配监造各环节的时间节点要求，无需中断制造流程即可完成检测，为高效推进监造工作提供技术支持^[2]。

3 水利工程设备监造常用无损检测技术

3.1 超声检测技术

超声检测技术核心要点：（1）参数校准，需根据检测构件材质、厚度确定超声波频率，常规水利设备用钢材、铸件检测频率选取2-5MHz，同步校准探头延迟、声速等关键参数，保障检测信号精准度；（2）耦合剂应用，结合检测环境与构件表面状态选用适配耦合剂，优

先保证声阻抗匹配性与流动性,涂抹过程需均匀覆盖检测区域,杜绝气泡产生以避免声波传导受阻;(3)扫查规划,依据构件形态采用平行、交叉或扇形扫查等方式,针对焊缝、厚壁构件等关键部位,严格控制扫查速度与重叠量,确保无检测盲区;(4)信号解读,通过分析反射波的位置、幅值、波形特征区分缺陷与干扰信号,参照水利工程设备检测标准完成缺陷大小、性质的判定。

3.2 射线检测技术

射线检测技术核心要点:(1)射线源与参数匹配,根据构件厚度、材质选择X射线或 γ 射线,科学设定管电压、管电流、曝光时间等参数,确保射线能量满足穿透需求且成像清晰;(2)成像系统布置,选用分辨率达标的胶片或数字成像板,合理规划射线源、构件与成像介质的相对位置,精准控制焦距长度,降低几何不清晰度对检测结果的影响;(3)散射线防控,采用铅板、铅屏等屏蔽材料遮挡散射线,既避免成像模糊,也保障检测环境安全;(4)影像评定,先依据灵敏度、对比度、清晰度等指标核验影像质量,再对照标准完成缺陷的定位、定量分析,明确缺陷是否符合质量要求。

3.3 磁粉检测技术

磁粉检测技术核心要点:(1)磁化方式选择,根据构件形状、尺寸及检测部位,选用轴向、周向或复合磁化方式,确保检测区域获得足够磁场强度,使缺陷处产生明显磁通泄漏;(2)电流参数设定,依据构件材质与截面尺寸计算并确定磁化电流大小及类型,交流电流适配表面缺陷检测,直流电流适配近表面缺陷检测,避免电流过大导致构件磁化过度或过小造成漏检;(3)磁粉施加,在构件磁化状态下均匀施加磁粉,干粉需均匀喷洒,湿粉需保证悬浮液浓度适中,施加过程避免扰动磁场;(4)缺陷识别与后续处理,在规范光照条件下观察磁粉聚集痕迹,区分真实缺陷与伪缺陷,检测完成后对构件进行退磁处理,消除残留磁场对后续使用的影响。

3.4 涡流检测技术

涡流检测技术核心要点:(1)线圈选型与校准,根据构件形状及检测需求选用点式、线式或阵列线圈,对线圈阻抗、灵敏度等参数进行校准,保障检测系统稳定性;(2)频率调节,依据构件材质的电导率、磁导率及缺陷深度确定检测频率,高频适配表面缺陷检测,低频适配近表面缺陷检测,通过频率优化提升缺陷检测效果;(3)检测距离控制,严格把控检测线圈与构件表面的间距,避免间距过大导致灵敏度下降,针对曲面构件需采用适配线圈或补偿措施;(4)信号分析,通过解读

涡流信号的相位、幅值变化识别缺陷,结合构件结构特点与检测参数判断缺陷大致位置、大小,同时排除材质不均匀、表面粗糙度等因素引发的干扰信号^[3]。

4 无损检测技术在水利工程设备监造中的具体应用

4.1 在水利工程设备原材料监造中的应用

该环节无损检测的核心目标是从源头把控原材料质量,筑牢水利工程设备制造的质量根基,应用要点包括:(1)检测范围界定,明确覆盖钢材、铸件、管材等核心原材料,同时延伸至关键配套零部件的毛坯料检测,重点针对原材料的内部疏松、缩孔、裂纹、夹杂、分层等典型缺陷开展全面检测,尤其关注原材料应力集中区域及易产生缺陷的轧制、铸造关键部位;(2)检测标准适配,严格对照水利工程设备原材料相关国家及行业检测规范,结合设备设计文件中对原材料的质量要求,细化各类型原材料的缺陷判定阈值,明确不同材质、规格原材料的检测等级,确保检测依据合规且贴合项目实际需求;(3)检测时机选择,在原材料进场验收阶段开展首次全面检测,核对原材料规格、材质证明与检测对象的一致性,对存储周期较长、露天存放或经历恶劣环境运输的原材料,出库使用前必须进行二次复核检测,排查存储及运输过程中可能产生的锈蚀、开裂等缺陷;(4)检测技术选型,针对钢材、铸件等厚壁原材料,优先选用超声检测技术并搭配相控阵超声检测设备,提升内部缺陷的定位精度和检测效率;对原材料表面质量检测,根据材质特性选用磁粉或渗透检测技术,其中铁磁性材料优先采用磁粉检测,非铁磁性材料则选用渗透检测;对管材类原材料,可结合涡流检测技术实现快速批量筛查,对疑似缺陷部位再采用超声检测进一步复核;(5)检测结果处置,建立标准化检测报告模板,对检测发现的不合格原材料,明确标注缺陷位置、大小、性质等关键信息,及时出具检测报告并反馈供应商及制造单位,严禁不合格原材料流入下料、加工等后续制造环节;同时建立原材料检测档案,详细记录原材料批次、检测时间、检测人员、检测设备、检测结果等信息,实现原材料质量全流程可追溯。

4.2 在水利工程设备制造过程监造中的应用

制造过程是缺陷产生的关键阶段,无损检测要精准嵌入核心工序节点,实现制造全流程质量管控,具体应用要点:(1)焊接工序检测,严格遵循“先外观后内部”的检测原则,在焊接完成后、焊缝冷却至室温且外观检查合格后开展无损检测;针对对接焊缝、角焊缝、T型焊缝等不同类型焊缝,制定差异化检测方案,对接焊缝优先采用超声检测排查内部未焊透、未熔合、气孔、

裂纹等缺陷,磁粉检测核查表面及近表面裂纹、夹渣等缺陷;检测需覆盖焊缝全长度,重点关注焊缝接头、熔合线、热影响区等应力集中关键部位,对检测比例根据焊缝重要等级确定,关键焊缝需实现100%全覆盖检测;

(2) 锻造/冲压工序检测,在锻造、冲压成型完成并经表面清理后开展检测,重点排查成型过程中因金属塑性变形不均、温度控制不当或模具问题产生的内部裂纹、组织不均匀、分层、折叠等缺陷;采用超声检测技术对零部件内部质量进行全面核查,结合涡流检测技术快速筛查表面及近表面缺陷,对成型后的关键承力零部件、复杂结构零部件,需进行全尺寸、全方位检测覆盖,确保无检测盲区;(3) 热处理后检测,针对需经过调质、正火、回火等热处理工艺的零部件,在热处理完成并冷却至室温后开展专项检测,重点排查热处理过程中因温度梯度不均、冷却速度过快或过慢产生的淬火裂纹、回火裂纹、变形等缺陷;检测技术选用需适配零部件热处理后的材质特性,如对热处理后硬度较高的零部件,选用高频率超声检测技术提升缺陷识别灵敏度,同时关注零部件尺寸变化对检测精度的影响;(4) 工序间检测衔接,建立各工序检测结果互认与闭环管控机制,上一道工序检测不合格的零部件必须暂停流转,制定专项整改方案并监督整改完成,经重新检测合格后方可流入下一道工序;同时同步将检测数据、整改情况等更新至监造档案,实现制造过程质量问题的及时发现、及时处置、全程可控。

4.3 在水利设备装配与出厂监造中的应用

该环节聚焦设备整体性能与装配质量,通过无损检测确保设备满足出厂交付及后续安全运行要求,应用要点有:(1) 装配间隙检测,针对设备主轴与轴承、阀门密封面、法兰连接面等关键装配部位,采用超声测厚仪、涡流间隙检测仪等高精度设备进行间隙尺寸检测,结合塞尺等辅助工具验证;检测过程中需多次多点测量,确保数据的准确性和代表性,严格控制间隙尺寸在装配技术要求范围内,避免因间隙过大导致运行振动、磨损加剧,或因间隙过小导致装配卡滞、热膨胀受阻等

问题,影响设备运行稳定性;(2) 连接部位检测,针对螺栓连接、焊接连接、铆接连接等装配节点,开展专项无损检测,对螺栓连接部位,采用磁粉检测或渗透检测排查螺栓头部、螺纹部位及螺母接触面的表面缺陷,对高强度螺栓连接部位,可结合超声检测技术核查螺栓紧固状态,判断是否存在松动、未拧紧等问题;对装配过程中的现场焊接接头,按照与制造过程同等的检测标准开展检测,确保连接质量可靠;(3) 出厂前全面检测,制定设备出厂前无损检测全覆盖方案,明确检测项目、检测部位、检测比例、检测标准等要求,对设备主体结构、关键零部件、密封部位、传动系统等核心部件开展系统性、综合性检测;整合原材料检测、制造过程检测、装配检测等各阶段检测数据,形成完整的检测报告,明确设备整体质量状况;(4) 检测结果与合格判定衔接,对照设备出厂质量标准、设计文件要求及相关行业规范,组织专业人员对检测数据进行综合评审,同时核查检测报告、整改记录、材质证明等相关资料的完整性和合规性^[4]。

结束语

无损检测技术在水利设备监造中具备显著适用性,是提升监造质量、保障设备安全的关键技术手段。本文从设备类型与监造重点、检测技术要求与适用性、常用技术要点及各环节应用等方面展开研究,明确了无损检测技术在水利设备监造中的应用逻辑与规范。未来要进一步推动无损检测技术的智能化、精准化升级,结合水利设备发展趋势优化技术应用方案。

参考文献

- [1]杨帆.设备状态检测技术在节制闸维修保养中的应用分析[J].治淮,2025(1):46-47.
- [2]曹敏,林秀松.无损检测技术在水利工程混凝土结构质量检测中的应用[J].水利技术监督,2025(9):30-32,148.
- [3]付海峰,潘亚辉,刘敏.无损检测技术在水利工程中的应用分析[J].工程建设与设计,2022(11):146-148.
- [4]张先树.无损检测技术在水利工程质量检测中的应用[J].农家科技,2025(18):88-90.