

水利工程中无损检测技术应用研究

——以为淮河干流董峰湖进退洪闸施工（Ⅱ标段）为例

魏东风

中国水利水电第十一工程局有限公司，河南 郑州 450001

[摘要]水利工程是我国的关键基础设施，不仅有助于促进周边经济的稳定发展，而且有助于达到更好的防洪排涝实际效果。在科技飞速发展的大环境下，无损检测技术也取得了长足的进步。无损检测技术是一种新的技术手段，在水利工程中显示出明显的效果，具有很大的应用优势。在水利工程中，无损检测技术在保证检测质量和准确性的前提下，不会对水利建筑造成损害，对水利工程具有重要意义。文中将介绍无损检测技术在水利工程中的重要性，并对各种无损检测技术的应用进行研究，旨在促进无损检测技术在水利工程中的应用，促进水利工程产业的进一步发展。文章结合淮河干流董峰湖进退洪闸施工（Ⅱ标段），对无损检测在实际工程中的应用进行分析研究。

[关键词]水利工程；无损检测技术；应用

DOI: 10.33142/ec.v6i10.9645

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Research on the Application of Non destructive Testing Technology in Water Conservancy Engineering

—— Taking the Construction of Dongfeng Lake Entrance and Exit Sluice on the Main Stream of the Huai River (Section II) as an Example

WEI Dongfeng

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450001, China

Abstract: Water conservancy engineering is a key infrastructure in China, which not only helps to promote the stable development of the surrounding economy, but also helps to achieve better practical results in flood control and drainage. In the context of rapid technological development, non-destructive testing technology has also made significant progress. Non destructive testing technology is a new technological means that has shown significant results in water conservancy engineering and has great application advantages. In water conservancy engineering, non-destructive testing technology ensures the quality and accuracy of testing, without causing damage to water conservancy buildings, and is of great significance for water conservancy engineering. The article will introduce the importance of non-destructive testing technology in water conservancy engineering and conduct research on the application of various non-destructive testing technologies, aiming to promote the application of non-destructive testing technology in water conservancy engineering and promote the further development of the water conservancy industry. The article analyzes and studies the application of non-destructive testing in practical engineering based on the construction of the Dongfeng Lake flood gate on the main stream of the Huai River (Section II).

Keywords: water conservancy engineering; non destructive testing technology; application

1 工程概况

淮河干流正阳关至峡山口段长约 36km，河道右岸有寿西湖行洪区，左岸有董峰湖行洪区，和东淝闸右圩和靠山圩等生产圩。整治标准：充分运用行洪区后，河道设计泄洪流量 10000m³/s，设计洪水位正阳关 26.40m、峡山口 25.54m；同时满足河道滩槽泄量 8000m³/s。

本标段施工内容为：

(1) 董峰湖进洪闸工程（0+000~1+568.1）

①董峰湖进洪闸工程，董峰湖进洪闸为新建工程，由闸室、两岸连接建筑物、防渗排水设施、消能防冲设施、上下游翼墙及导流堤、公路桥及启闭机房等建筑物组成，

设计行洪流量 2500m³/s。

②水闸两侧岸墙及上下游左右岸翼墙均采用水泥土搅拌桩处理，桩径为 0.8m，桩长以深入④1 层轻粉质壤土层或⑤层重粉质壤土层内 1~2m 控制。水闸闸室、两侧岸墙及上下游左右岸翼墙采用水泥土搅拌桩连续墙围封措施。搅拌桩连续墙沿闸室和两侧岸墙上下游段基底布置，形成相互独立面积适中的围封网格。水泥搅拌桩墙体底端深入④1 层轻粉质壤土层或⑤层重粉质壤土内不小于 1.0m，桩顶位于建筑物建基面以下。

③钢筋混凝土灌注桩布置：水闸湖内侧消力池斜坡段布置钢筋砼抗拔桩，桩径 0.8m，桩间距 4m×5.8m，桩长

8~10m。桩长 8m 单桩竖向抗拔承载力特征值 373kN，桩长 10m 单桩竖向抗拔承载力特征值 404kN。

(2) 董峰湖退洪闸工程 (11+333.2~13+425.5)

①董峰湖退洪闸工程，董峰湖进洪闸为新建工程，由闸室、两岸连接建筑物、防渗排水设施、消能防冲设施、上下游翼墙及导流堤、公路桥及启闭机房等建筑物组成，设计行洪流量 2500m³/s。

②混凝土截渗墙：截渗墙布置范围退洪闸底板准河侧齿墙下布置一道钢筋混凝土截渗墙，其两端伸出岸墙底板以外各 40m，截渗墙总长 376m。截渗墙设计墙厚 0.60m，岸墙及闸室处截渗墙墙顶 3.9m 高度以内，两侧岸墙外截渗墙墙顶 5.5m 高度以内配置钢筋。截渗墙底部深入 6 层重粉质壤土 1.0mm

无损检测技术是工业化和技术进步协调发展的物质。根据电子信息技术、智能技术及其远程控制检测技术的发展，打破了破坏性检测方法的局限性，可以再保证被检测物质始终为原始状态，同时扩大了检测技术的应用范围，也保证了许多生产经营活动的有序进行。从某种角度来看，无损检测技术的应用和高质量发展是促进工业化发展的辅助推动力。传统水利工程的物质检测有局限性，如无法完成远程控制模块检测，无损检测技术能有效处理此问题，大大提高检测相关工作的便利性。水利工程无损检测技术的有效应用可为施工维护提供强有力的支持。

2 无损检测技术概述

2.1 基本原理

无损检测技术是我国检测领域不可缺少的一部分，通常在不破坏检测对象和结构的前提下合理整合内部结构质量信息，属于新的检测技术，包括超声波检测技术等，不仅能全面掌握结构内部特征，还能快速发现质量问题导致的原因，方便相关人员提出科学的故障应对策略。在过去的工程项目检测过程中，由于技术本身的误差，检测会破坏被检测部件的结构及其完整性，不利于保证工程项目的质量，但在研发实施过程中科学利用高质量的检测结论，可以保证最终数据的客观性和真实性，减少对结构的影响，也是无损检测技术应用的重要优势。因此，在日常工作中，要根据高质量检测应用的管理特点，根据实际情况选择合适的方式进行现阶段的日常检测任务。在初步检测中，要做好实际情况的调查，确定无问题后才能实施现阶段的无损检测技术，使整体技术规范具有很强的科学性。无损检测技术虽然利用优势突出，但在应用过程中会有很多相关因素。因此，检测人员应根据实际情况进行全面监督。一旦发现异常现象，应立即终止现阶段的检测，然后明确提出更科学的改进措施及其应对方案，突出无损检测技术本身的优势，最大限度地保证工程项目的质量。

2.2 主要特点

无损检测技术具有很强的生产操作性，一般在较远的

地方进行检测。许多机械设备根本没有这样的优势，有利于水利工程的快速发展。从特点上讲，无损检测技术主要有三个特点。第一个特点是物理特性。无损检测技术可以通过各种参数进行检测。无损检测技术在水利工程中的应用，可以科学合理地计算水利工程中需要使用的各种原材料。第二个性质是长距离检测。原水利工程中的检测技术性仍有一定的局限性。对长距离的模块无法检测。高质量的无损检测技术性能正好可以填补这一缺陷，检测也非常方便。第三种性质是可持续的。无损检测技术可以在相关时间内反复进行，并可以多次收集信息。这样，检测到的信息准确性也很高。与其他检测技术相比，它具有一定的创新性。因此，无损检测技术在水利工程中的应用是大势所趋。

2.3 重要意义

水利工程基础设施建设是我国基础设施工程之一，工业增长趋势直接关系到我国经济社会的稳定发展。目前，无损检测技术已广泛应用于水利工程检测环节。无损检测技术在水利工程中的应用，可以有效保证工程项目整体结构的安全性，保证工程项目的成功运行。无损检测技术具有现场特点，一般可在一定的远距离进行检测工作。其“无损”的特点对水利工程也十分有益，大多数检测技术和检测机械设备都没有这种优势。

3 无损检测技术在水利工程中的应用

3.1 超声波检测技术

3.1.1 原理

超声波是指超声波在介质中传播的振动，应以波动的方式传播。频率范围一般在 21~200001Hz，当频率比超过 20 kHz 时可以称之为超声波。超声波在水利水电工程中的应用主要是对混凝土的检测，应用的是应力波的基本原理。超声波在混凝土和非金属材料原料的检测中频率极低，约为 21~501kHz，在一些特别敏感的金属复合材料中，超声波的频率通常相对较高，一般为 0.16~21MHz。此外，超声技术可以应用于每种材料的检测。超声技术具有许多优点，它不仅适应性强，而且成本低，对人体健康无害。因此，超声技术广泛应用于各工程项目的无损检测技术中。

3.1.2 应用分析

在董峰湖进洪闸的水闸湖内侧消力池斜坡段钢筋混凝土抗拔桩检测时，应用低应变检测法检测抗拔桩桩身完整性。超声波广泛应用于混凝土结构的检测中。在混凝土中使用超声波进行检测时，可分为两种方法，一种是双面检测法，另一种是单面检测法。混凝土结构一般采用两面检测方法，因为混凝土结构中的预制构件结构不是很大，探头可以放置在两侧。检测时，接收探头必须在构件两侧不断移动，然后计算移动区域，计算声波频率的主要参数。混凝土的横截面一般都很大，而且只有一个表面可以放置

探头。此外，超声波实际上还有一层功能，可以通过各种变化的相位变化来检测混凝土缝隙的深度。

3.2 回弹法检测技术

3.2.1 原理

这种技术主要是通过重锤和弹簧来完成的。在检查过程中，利用弹簧的压缩变形效应产生弹性势能，对重锤产生作用力，从而促进传力杆进行混凝土敲击，观察敲击痕迹，在精确测量阶段检测弹簧的位移状态，根据其位移的主要参数判断混凝土的强度。本检测技术应用于水利水电工程的各种坝基等结构中，不仅检测效率高，而且成本低。最重要的是，这种检测技术的使用不会对钢筋混凝土产生任何影响，仍能保证混凝土的完整性和结构性能。

3.2.2 应用分析

在董峰湖进洪闸、退洪闸工程施工过程中，用 AC-3 型数字回弹仪进行混凝土实体强度检测。在回弹检测技术的应用过程中，应做好以下工作：一是在使用前，必须对工程施工图进行深入了解，建立混凝土强度水平、浇筑方法和维护对策。其次，在开展测试工作的过程中，必须确保测试区域的清洁度，确保混凝土表面无污渍，测试部分平面度也需要满足关键技术的相关规定，防止污渍或平面度等因素降低测试工作的准确性。第三，需要合理控制各结构的测量间距。如果检测结构表面规格相对较小，则必须适当减少测量区域的数目。第四，在实施检测工作时，必须确保回弹器中心线垂直于检测表面，并进行对称、缓慢的水压试验。在检测期间，还需要进行范围控制和管理，以防止突然用力范围和范围过高。第五，在测量区域内，应均匀设置测量点。如果施工钢筋暴露在结构表面，应确保测量点与钢筋之间的间隔 30mm 此外，测点设置不得用于暴露岩层或结构气孔；第六，在准确测量回弹值后，还需要选择合适的部分准确测量混凝土碳化值，同时获得测试平均值。第七，在进行回弹值计算时，需要除去 3 个最大回弹值和最小回弹值之后，记录剩余回弹值的平均值。

3.3 探地雷达检测技术

3.3.1 原理

探地雷达技术属于电磁波探测技术，该技术利用频率分布在 $10^6 \sim 10^9$ Hz 范围内的电磁脉冲完成了地质现象和目标物体检测，该技术利用地面向地下介质进行电磁波反射来进行探测，也被称为地质雷达技术。探地雷达的技术原理如下：根据偶极子源引起雷达波，当发送和接受偶极子平行面时，接受偶极子在发送偶极子的主截面上，有垂直于偶极子角度的静电场和垂直于该角度的电磁场；充分考虑偶极子辐射场是球面波，如果间距放射性物质位置很远，可以在一定程度上进行平面分析，球面波也将转化为平面波。

目前，对时域地质雷达的检测主要方式包括宽角法和剖面法。剖面法根据接收天线和发送天线在设定间隔下沿

测试线移动获得的观测数据，最终结果反映为时长剖面形式。当天线中间的设置间距为小时，可定性为自激振荡自收时长截面模式；宽角规则应设置在路面上的天线部分，技术人员应沿测试线方向移动天线，同时对不同物质面的反射波进行动态记录。

3.3.2 应用分析

在董峰湖工程进洪闸混凝土搅拌桩截渗墙和退洪闸混凝土截渗墙检测时，采用地质雷达检测截渗墙连续性及其深度，探得雷达技术应用的地质条件，包括坝基结合面砂体埋深、地质环境分层、软弱夹层等。与传统的人工勘探技术相比，探地雷达技术具有稳定性、经济成本低、测量方便等优势。人工勘探消耗的经济成本较高，地面勘探雷达技术消耗时间较短，现场工作面完全覆盖所有场所，基本不会有遗漏。探测深度也超过了勘探深度，可以实现深度最深为 40 m。探地雷达技术还可以对地下内腔的目标物进行测定，通过布局网格图测试线，从几个角度获得雷达探测剖视图，然后对内腔中的目标体进行三维重现，这对水利水电工程中地下隧道、坍塌、挖空、蚁巢等灾害的检测和解决非常有用。探地雷达技术也可用于测量坝基浸润线和地下水位线。传统的水位和浸润线主要由 U 型管测量，容易受到自然环境条件的限制，造成测量误差，探地雷达技术能有效保证水位原点和截渗体完整性检测的准确性。该技术可以确定旧工程的截渗体结构，保证新工程不同工程施工阶段截渗体结构的可靠性。针对隧道施工衬砌质量的检测，该技术可以持续、稳定、清晰地确定隧道施工衬砌厚度、接触面积软岩与衬砌混凝土之间是否有间隙、衬砌布局中建筑钢筋的数量。

3.4 锚杆无损检测技术

3.4.1 原理

锚杆无损检测方式被广泛使用水利水电工程钢筋锚固弹性质检工作中，在运用锚杆无损检测技术时，专业人员需在锚杆螺纹钢材外露部位组装接收换能器，并且在外露端擦抹适当黄脂膏以保证换能器与螺纹钢材连接紧密，确保换定位仪可以准确精确测量统计数据。检测工作人员沿锚杆螺纹钢材外露部位发送音频应力波，应力波越过换能器进到锚杆内部结构然后进行反射，与此同时波幅不断下降，这时换能器将会对反射波波幅开展实时监控。若反射波相比发送波，其波幅损耗水平越多，则说明其锚杆品质就越好，反过来若反射波波幅损耗程度较小，则表明锚杆内部结构料浆效率低下，必须对锚杆开展注浆操作，以提升钢筋锚固弹性品质。运用螺纹钢材作为锚杆无损检测的中间介质，能够减少发送波与反射波所受到的外部影响，并有效对应应力波的快速传输，以提升检测结论准确性。运用应力波衰减的有关基本原理，检测工作人员还可以对锚杆钢筋锚固品质开展弹性波检测，并且对检测环节中收集到弹性波形、波幅开展深入分析，并且对统计数据

开展量化评价。进一步提高锚杆钢筋锚固品质检测结论的稳定性。在水利建设中合理使用锚杆无损检测技术性能能有效避免传统拉拔仪检测技术的缺陷,与此同时该方法对锚杆径长、锚深、锚杆露出长短等多种因素不会有硬性规定,还可以运用束锚桩检测工作中,大大提高了水利水电工程无损检测技术的使用范围,且该无损检测技术性具备检测速度更快、检测精确度高、检测方式多、检测难度系数较小的优势。

3.4.2 应用分析

在水利水电工程锚杆无损检测技术的实际应用中,检测人员可以通过应力波接收等值计算锚杆的实际长度。同时一般采用 BS-I 锚杆检测仪进行无损检测,其应力波发射方式为超磁发射。在具体步骤中,多名检测人员必须配合工作,确保检测工作的顺利进行。根据水利水电工程图纸,检测人员在检测区域设置实际操作服务器,并将其放置在检测区域 2m 为间距,安排一定数量的波形传感器。应力波反射饱和度一般位于 95%,而且锚杆长度一般位于 4.5~5.5m 此时,第一反射波波动幅度较大,然后反射波波动幅度显著降低,可表明锚杆钢筋锚固弹性波质量较高,锚杆内部结构均匀。如果发现锚杆应力波对比度相对较低,且锚杆长度较长,则表明锚杆质量较差。检测人员必须对锚杆进行灌浆操作,以提高锚杆质量,确保锚杆钢筋的弹性波符合要求

合理采用锚杆无损检测技术,可对水利水电工程中各类锚杆进行质量检测,深入分析锚杆钢筋锚固深度、倾斜角等核心信息,合理节省检测时间和检测成本,防止打孔灌浆操作对检测结论的影响,提高无损检测过程的有效性。

钢筋锚固的无损检测技术不会直接对锚杆锚桩的钢筋锚固特性产生影响,充分保证了钢筋锚固的质量,合理避免了检测过程中锚杆锚桩损坏和干裂的问题。同时,该方法只需要较少的检测人员共同工作,进一步降低了检测成本。

4 水利工程中无损检测技术的应用实例

以董峰湖退洪闸混凝土防渗墙质量检验与控制为例子,对混凝土防渗墙的质量加以控制,并针对检测到质量问题予以处理。为确保闸基础混凝土防渗墙的质量符合规定,要重点检测防渗墙的施工阶段持续性、墙体缝隙、墙体孔眼等。检测机构利用现场钻孔取芯室内实验及打孔压水试验等,采用探地雷达检验技术获取具体质量参数。一般来说,对于防渗墙的检验项目有混凝土抗压强度、渗水性、墙身完整性。利用钻孔取芯测定法,获知防渗墙中原材料比较详细,材质会相对匀称,从未有过孔眼的形成,一部分部位有小圆孔,但是孔径和深度比较小,并没有断墙及体积大的泥球。

利用探地雷达无损检测技术对于防渗墙中 3 余处疑似异常区域进行检测和剖析,基本上可以清楚 1 处疑似异常部位(4+430),其他部位进行深层次的开挖查验。根据工程监理单位与技术、质检部门联合行动,一同查验,4+430 墙体发生夹泥缝,在经过一系列整治程序后使之达到质量检测标准。别的部位在开挖检查的时候并没有检测到质量问题,其墙体比较平整满足质量标准。

5 结束语

伴随着电子计算机技术的发展,将来的无损检测技术将不可避免地获得进一步的自主创新,尤其是该技术与超声成像技术跟新扫描仪技术的融合,能够促进现阶段定性检测向定量分析检测的发展,完成检测环节中质量隐患问题直接成像。与此同时,智能化技术的广泛运用又为无损检测技术的遥感技术控制与自动智能操纵带来了概率,不但可以提升目前技术的局限,而且还能得到更广泛应用范畴。除此之外,将无损检测技术与弹塑性力学专业知识紧密结合,完成工程项目使用期限的准确性点评,对项目健康发展起着至关重要的作用。为保证水利工程建设中的成功发展和水利工程的长期发展,必须深入推进无损检测技术的开发,随着当前人工智能的火热发展,将无损检测技术与人工智能识别技术相结合,使其进一步完善,更切实解决水利工程中存在的问题,保证工程项目的质量水平。

[参考文献]

- [1] 廖文强. 水利工程中无损检测技术应用研究[J]. 大众标准化, 2022(21): 59-60.
 - [2] 吴世辉. 无损检测技术在水利工程中的应用研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022(26): 148-150.
 - [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] 白杰. 无损检测技术在水利工程中的应用研究[J]. 中华建设, 2020(11): 120-121.
 - [5] 梁娟. 无损检测技术在水利工程中的应用研究[J]. 工程技术研究, 2020, 5(13): 99-100.
 - [6] 郭晓伟. 无损检测技术在水利工程中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2019, 48(4): 44-45.
 - [7] 聂雪锦. 无损检测技术在水利工程中的应用初探[J]. 黑龙江水利科技, 2018, 46(3): 148-149.
 - [8] 刘淑一. 无损检测技术在水利工程中的应用初探[J]. 黑龙江科技信息, 2016(23): 249.
 - [9] 朱志军. 无损检测技术在水利工程中的应用研究[J]. 中外企业家, 2016(9): 172.
- 作者简介: 魏东风(1988.4—), 毕业院校: 华北水利水电大学, 水利水电建筑工程, 当前就职单位: 中国水利水电第十一工程局有限公司, 职务: 主任, 职称级别: 工程师。