

电磁法无损检测技术在龙潭沟水库中的应用

姜宁¹, 喻红华², 李福仲²

(1. 青岛官路水库开发建设有限公司, 山东 青岛 266314; 2. 山东省农业科学院, 山东 济南 250131;
3. 山东省水利科学研究院, 山东 济南 250014)

【摘要】 文章分析了电磁法无损检测技术的原理、分类及在钢丝绳检测中的适用性, 并结合龙潭沟水库钢丝绳的实际情况, 设计了合理的检测方案。研究结果显示, 电磁法无损检测技术能够准确、快速地检测出钢丝绳内部存在的缺陷, 相较于传统检测方法具有显著优势, 有效弥补了现有检测方法的不足。

【关键词】 龙潭沟水库; 钢丝绳; 电磁法; 无损检测

【中图分类号】 TV697

【文献标志码】 A

【文章编号】 1009-6159(2025)-08-0024-03

Application of Electromagnetic Non-destructive Testing Technology in Long Tangou Reservoir

JIANG Ning¹, YU Honghua², LI Fuzhong²

(1. Qingdao Guanlu Reservoir Development and Construction Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266314, China;
2. Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong 250131, China;
3. Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: This paper analyzes the principles, classifications of electromagnetic non-destructive testing technology, and its applicability in steel wire rope detection. Combined with the actual situation of steel wire ropes in Long Tangou Reservoir, a reasonable detection scheme is designed. The research outcome shows that electromagnetic non-destructive testing technology can accurately and quickly detect internal defects in steel wire ropes, which has significant advantages over traditional detection methods and effectively makes up for the shortcomings of existing detection methods.

Key words: Long Tangou Reservoir; Steel wire rope; Electromagnetic method; Non-destructive testing

钢丝绳在水利工程中却有着不可或缺的地位, 广泛应用于水库大坝、水闸、输水管线等关键部位, 起着连接、固定、提升及牵引等多重作用, 对水利工程的稳定与运行安全有着直接的影响。钢丝绳的安全性和可靠性对一旦钢丝绳出现磨损、腐蚀、断裂等损伤, 轻则影响工程的正常运行, 重则可能导致整个水利设施的失效, 甚至引发安全事故。然而, 钢丝绳在长期受力、淹没于水下等因素的影响下容易出现损伤, 对水库的安全运行构成严重威胁。泄洪洞闸门钢丝绳失效可能会导致严重的后果, 包括但不限于水库溃坝、洪水无控制下泄等, 这些都将对下游地区的人民生命财产安全构成极大威胁。

为了避免这类事故的发生, 对钢丝绳进行定期、准确的检测就显得尤为重要。通过检测, 可以及时发现钢丝绳的潜在问题, 如磨损、腐蚀、内部断裂等, 从而采取相应的维修或更换措施, 确保钢丝绳的正常运行。不仅可以延长钢丝绳的使用寿命, 更可以保障整个水利工程的稳定运行。

为了确保钢丝绳的安全运行, 龙潭沟水库管理部门制定了严格的定期检测和维护制度。定期检测可以及时发现钢丝绳的潜在问题, 如断裂、腐蚀、磨损等, 从而采取相应的维修和更换措施。不仅有助于延长钢丝绳的使用寿命, 更能确保水

收稿日期: 2025-03-14

作者简介: 姜宁(1985—), 男, 工程师

库大坝等关键设施的稳定与安全。

1 龙潭沟水库概况

龙潭沟水库位于五莲县东南部,户部乡上沟村西约 376 m 处,潮白河最上游,发源于五莲县九仙山北麓。水库枢纽工程主要包括大坝、泄洪洞、放水洞等建筑物。大坝为碾压式混凝土重力坝,最大坝高 67.94 m,坝顶轴线长 264.0 m,其中溢流坝段长 30.0 m,其余为非溢流坝段。在大坝桩号 0+062 处设放水洞,坝内部分为钢管,坝外部分为钢套筒管,进口设竖井闸室,内设事故检修门,为平面钢闸门。出口设工作闸阀井。水库下游主要保护对象为五莲县户部乡、叩官镇、潮河镇、胶南市海青镇、日照市东港区两城镇的 79 个行政村、7.0 万人口耕地,同三高速、204 国道、334 省道和潍日高速、青一连铁路以及五莲县工业园(省级)、日照市两城水源地和日照国家森林公园等重要基础设施。

水库大坝是龙潭沟水库的核心结构,其设计巧妙地将自然地形与工程结构相结合,既保证了大坝的稳定性,又最大限度地减少了对周围环境的影响。大坝采用钢筋混凝土结构,具有较高的强度和耐久性。在日常运营中,大坝承受着巨大的水压和荷载,因此对其各个组成部分,特别是泄洪洞闸门的钢丝绳等关键承载元件的安全性和可靠性提出了极高的要求。

2 现有检测方法的特点

2.1 人工目视检查

人工目视检查是最为基础的一种检测方式,它依赖于检测人员的经验和视觉敏锐度。这种方法的局限性显而易见:只能发现钢丝绳表面的损伤,对于内部的微小裂痕、腐蚀或者金属疲劳等问题则无能为力。此外,人工检查还容易受到环境光照、检测人员疲劳度等多种因素的影响,从而导致漏检或误判。

2.2 超声波检测

超声波检测技术在一定程度上弥补了人工目视检查的不足,能够探测到钢丝绳内部的缺陷。但这种方法也有其固有的问题:超声波的传播受材料性质、温度、压力等多种因素影响,可能导致检测结果的不稳定,同时,超声波检测设备

的成本较高,且需要专业的操作人员,在一定程度上限制了其广泛应用。

2.3 X-射线检测

X-射线检测技术在某些场合下能够提供高精度的检测结果,尤其是对于钢丝绳内部的微小缺陷具有较高的识别能力。然而,X-射线检测存在明显的安全隐患,长期接触 X-射线可能对人体造成损害。此外,X-射线检测设备昂贵,检测过程复杂,不适合作为常规的检测手段。

2.4 电磁法无损检测技术

电磁法无损检测技术是一种有效的检测方法,利用电磁感应原理通过测量钢丝绳中产生的感应电动势来评估钢丝绳的损伤程度,具有非接触、高灵敏度、高效率等优点,适用于检测钢丝绳的断丝、磨损、腐蚀等损伤。电磁法无损检测技术能够有效地发现和评估这些损伤,确保钢丝绳的安全使用。

3 检测方案设计

3.1 检测设备与技术参数选择

在龙潭沟水库钢丝绳的检测工作中,选择合适的检测设备与技术参数至关重要,这不仅关系到检测结果的准确性,还影响到检测工作的效率和安全性。

针对钢丝绳的特殊性质和龙潭沟水库的具体环境,首选 GTS 钢丝绳无损探伤仪作为主要的检测设备。GTS 钢丝绳无损探伤仪通过产生交变磁场来检测钢丝绳内部的缺陷,具有非接触性、高灵敏度等优点,非常适合对在役钢丝绳进行快速且准确的检测。

技术参数的设定也是检测工作中的重要环节。在 GTS 钢丝绳无损探伤仪检测过程中,检测频率和检测灵敏度的设定直接影响到检测结果的准确性和可靠性。根据钢丝绳的材质、规格和使用环境等因素,通过多次试验和对比,确定了最佳的检测频率和灵敏度,不仅保证了检测结果的准确性,还提高了检测效率。

在龙潭沟水库钢丝绳的检测工作中,通过精心选择检测设备和技术参数,确保检测结果的准确性和可靠性。不仅为水库的安全运行提供了有力保障,也为类似工程的检测工作提供了有益的参考和借鉴。

3.2 检测过程实施

在实施检测过程中,严格遵循预先设计的检测方案。首先,对钢丝绳进行全面的外观检查。龙潭沟水库泄洪洞启闭机钢丝绳规格均为 6 m×37 m,取 4 根长约 7 m 钢丝绳,经外观质量检测,发现钢丝绳存在扭结(正向)和内部腐蚀现象。钢丝绳局部内部腐蚀,钢丝表面手感粗糙,内部腐蚀碎屑从外绳股之间的股沟溢出。

随后,采用 GTS 钢丝绳无损探伤仪对钢丝绳进行深入的无损检测。该仪器可检测钢丝绳内外部的断丝、锈蚀、磨损和金属截面积的变化,按现行标准和规程提出诊断报告。整个检测过程中,确保操作环境稳定,避免外部电磁干扰对检测结果的影响,同时,检测人员均经过专业培训,能够熟练操作检测设备并准确解读检测结果。

3.3 检测结果分析

现场检测直径 $\Phi 28$ mm 钢丝绳 3 根,长度分别为 1.68 m、7.42 m、17.23 m; $\Phi 24$ mm 钢丝绳 1 根,长度为 18.05 m。钢丝绳检测结果见图 1~4,数据波形显示图中,横向每行显示 512 个采样点,图像两侧的数字均为距离显示,左边数字是所对应波形的起始数字前端起始点总检测,右边数字是所对应波形段的末端结束点与检测起始点的总位移,图中红点处为一个断丝,4 个检测图形均存在红点连续现象,说明检测的 4 根钢丝绳均存在集中连续断丝现象。

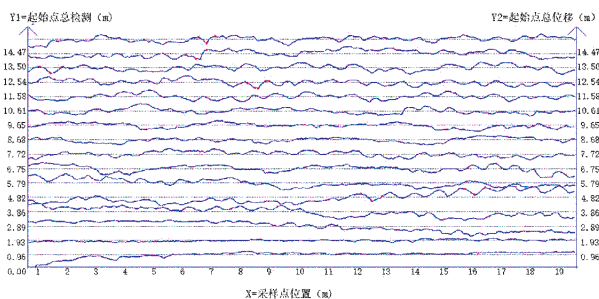


图 1 $\Phi 24$ mm 钢丝绳检测成果

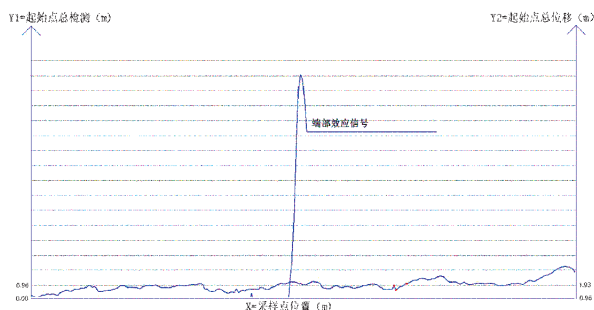


图 2 1.68 m 长 $\Phi 28$ mm 钢丝绳检测成果

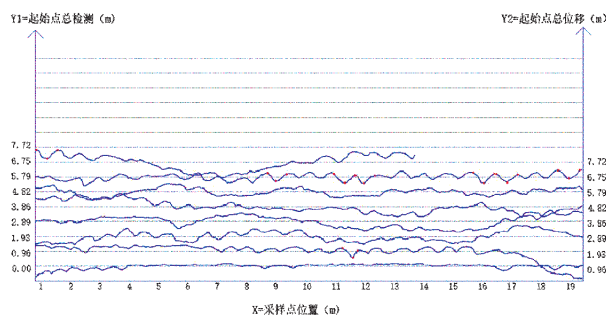


图 3 7.42 m 长 $\Phi 28$ mm 钢丝绳检测成果

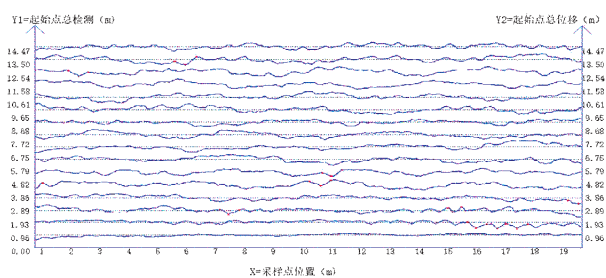


图 4 17.23 m 长 $\Phi 28$ mm 钢丝绳检测成果

检测结果图 1 显示,18.05 m 长、 $\Phi 24$ mm 钢丝绳存在 8 处缺陷,捻距内断丝最多的位置位于 4.46 m 处,根数为 1 根,该捻距内断丝面积与钢丝绳截面积之比为 0.45%;捻距内钢丝绳金属断面积最大减小量位于 17.60~17.84 m 处,磨损量为-95.86%。

检测结果图 2 显示,由于所测的钢丝绳较短,检测图象呈现钢丝绳终端的端部效应,由检测起动时突变而形成,不可作为缺陷信号处理。1.68 m 长、 $\Phi 28$ mm 钢丝绳存在 5 处缺陷,捻距内断丝最多的位置位于 1.32 m 处,根数为 17 根,该捻距内断丝面积与钢丝绳截面积之比为 7.66%;捻距内钢丝绳金属断面积最大减小量位于 1.21~1.45 m 处,磨损量-117.75%。

检测结果图 3 显示,7.42 m 长、 $\Phi 28$ mm 钢丝绳存在 8 处缺陷,捻距内断丝最多的位置位于 1.52 m 处,根数为 1 根,该捻距内断丝面积与钢丝绳截面积之比为 0.45%;捻距内钢丝绳金属断面积最大减小量位于 6.99~7.23 m 处,磨损量为-100.28%。

检测结果图 4 显示,17.23 m 长、 $\Phi 28$ mm 钢丝绳存在 13 处缺陷,捻距内断丝最多的位置位于 1.74 m 处,根数为 1 根,该捻距内断丝面积与钢丝绳截面积之比为 0.45%;捻距内钢丝绳金属断面积最大减小量位于 12.78~13.02 m 处,磨损量-94.09%。

(下转第 29 页)

$1.893 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$;水力坡降最大值为 0.27,允许值为 0.30。围堰堰体内水力坡降很小,下游堤坡最大渗透坡降值均小于允许渗透坡降。计算结果表明,围堰防渗效果较好,能够保证拦河闸施工要求及施工期围堰渗流稳定性。

围堰边坡抗滑稳定分析采用简化毕肖普法计算。迎水面采用施工期设计洪水位 96.314 m,背水面无水,计算迎水面和背水面边坡稳定。根据《水利水电工程施工组织设计规范》(SL 303—2017),围堰为 4 级建筑物,计算的边坡抗滑稳定安全系数允许值为 1.15。围堰填筑土料干容重为 16.90 kN/m^3 ,粘聚力 C 为 18.5 kPa,内摩擦角为 22.0° 。经计算,围堰上下游边坡抗滑稳定安全系数分别为 2.096、1.279,满足规范要求。

3 围堰施工

根据施工导流方案,拦河闸围堰分两期进行施工,围堰土方填筑利用滩地范围内土料,开挖土方采用挖掘机装自卸车运输至围堰填筑部位翻卸,74 kW 推土机摊铺后碾压。围堰填筑采用进占法施工,围堰迎水面防渗和护坡施工与围堰填筑同时进行。复合土工膜铺设需要满足搭接长度要求,将复合土工膜定位后,抛填护砌编织袋装土,与复合土工膜一起顺定位桩沉入河底。迎

水面护坡采用人工装编织袋,机动翻斗车运至工作面抛填施工。

4 结语

大汶河汶口坝拦河闸除险加固工程施工导流方案的顺利实施,为其他建筑工程的土建和金属结构安装工程等打下良好的基础。工程两期围堰施工均需在一个非汛期内完成,由于土方填筑工程量大,造成围堰施工工期紧、强度高、难度大,这些问题是围堰工程设计中经常遇到并需要解决的难点。在施工导流设计中需充分考虑施工工序,结合围堰断面尺寸,防渗型式、空间布置等因素,合理确定围堰方案。本工程采用土石围堰,堰体为梯形断面,水位以下采用自然放坡方式,利用机械化施工,较好地满足了施工工期的要求。

参考文献

- [1] 山东省水利勘测设计院有限公司.泰安市大汶河汶口坝拦河闸除险加固工程初步设计报告[R].2019.
- [2] 水利部水利水电规划设计总院.水利水电工程施工组织设计规范:SL303-2017[S].北京:中国水利水电出版社,2017.
- [3] 水利部水利水电规划设计总院.水利水电工程施工导流设计规范:SL623-2013[S].北京:中国水利水电出版社,2014.
- [4] 水利部水利水电规划设计总院.水利水电工程围堰设计规范:SL645-2013[S].北京:中国水利水电出版社,2013.

(责任编辑 赵其芬)

(上接第 26 页)

根据检测成果可知,4 根所检钢丝绳均存在断丝,且钢丝绳断丝随机地分布于某个区段,受影响的区段也无法按要求移除;钢丝绳局部存在扭结(正向)和内部腐蚀现象。这些缺陷大多处于钢丝绳的应力集中区域,这可能是由于长期使用过程中的疲劳损伤所导致。虽然目前尚未对钢丝绳的整体性能造成严重影响,但如果不及时进行处理,可能会引发更大的安全隐患。

4 建议

一是对检测出的缺陷区域进行重点关注,定期进行复查,确保缺陷没有进一步扩大。二是加强钢丝绳的日常维护工作,包括定期清洁、润滑以及检查紧固件的松动情况等。三是建立完善的钢丝绳使用档案,记录其使用历史、维护情况和

检测结果,以便及时发现并解决问题。四是对龙潭沟水库的所有钢丝绳进行全面的电磁法无损检测,以确保整个水库工程安全运行。

5 结语

相比传统的检测方法,电磁法无损检测技术大大提高了检测效率。电磁法无损检测技术不仅提高了缺陷检测的准确性和效率,还提供了丰富的缺陷信息,有助于更好地了解钢丝绳的使用状态,制定合理的维修和更换计划。通过本次电磁法无损检测技术在龙潭沟水库钢丝绳检测中的应用实践,验证了这种方法的可行性和有效性。未来,随着技术的不断进步和完善,电磁法无损检测技术将在水利工程领域发挥更大的作用,为水利工程的安全运行提供技术支持。

(责任编辑 张玉燕)