

水利水电工程中的电缆线路故障检测与修复技术

王子瑒 张璇 陈佳琦

江苏省骆运水利工程管理处

DOI:10.12238/hwr.v8i12.5909

[摘要] 本文以江苏省的水利水电工程为研究对象,围绕电缆线路故障的检测与修复技术展开系统研究。文章分析了区域内常见故障类型及其对工程运行的影响,评估了传统与智能检测技术、新材料修复技术的优劣,并结合实际案例提出“检测-分析-修复”一体化综合解决方案。研究表明,智能化在线监测系统、新型环保绝缘材料与自动化修复工艺的结合,不仅提高了故障检测与修复效率,还显著降低了工程维护成本,为类似区域工程提供了技术借鉴。未来,可通过优化智能算法、推广绿色材料和构建标准化管理机制,进一步提升技术的适用性与推广性,为水利水电工程的可持续发展提供支持。

[关键词] 水利水电工程; 电缆线路; 故障检测; 修复技术; 智能化

中图分类号: TV5 文献标识码: A

Cable line fault detection and repair technology in water conservancy and hydropower engineering

Ziyang Wang Xuan Zhang Jiaqi Chen

Jiangsu Province Luoyun Water Conservancy Project Management Office

[Abstract] This article takes water conservancy and hydropower projects in Jiangsu Province as the research object, and conducts a systematic study on the detection and repair technology of cable line faults. The article analyzes common types of faults in the region and their impact on engineering operations, evaluates the advantages and disadvantages of traditional and intelligent detection technologies, as well as new material repair technologies, and proposes an integrated comprehensive solution of "detection analysis repair" based on practical cases. The research results indicate that the combination of intelligent online monitoring systems, new environmentally friendly insulation materials, and automated repair processes not only improves the efficiency of fault detection and repair, but also significantly reduces engineering maintenance costs, providing technical reference for similar regional projects. In the future, by optimizing intelligent algorithms, promoting green materials, and establishing standardized management mechanisms, the applicability and promotion of technology can be further enhanced, providing support for the sustainable development of water conservancy and hydropower projects.

[Key words] water conservancy and hydropower engineering; Cable line; Fault detection; Repair technology; Intelligentization

1 研究背景

水利水电工程在现代社会能源供应和防洪减灾中具有重要作用,其中电缆线路作为关键基础设施,直接影响工程的安全性与稳定性。然而,随着运行时间的增加,电缆线路因绝缘老化、机械损伤、环境腐蚀等问题,故障发生率显著上升。近年来,江苏省水利水电工程中电缆故障问题屡见不鲜,尤其在极端天气和高负荷运行时期,其对工程正常运行的威胁尤为突出。因此,研究高效的电缆线路故障检测与修复技术,具有重要的现实意义。

1.1 研究意义

电缆线路故障不仅会导致供电中断,影响水利水电工程的持续运行,还会带来严重的经济损失和潜在安全隐患。尤其在江苏省,该区域因特殊的湿润气候和复杂的地质条件,电缆故障的维修成本高、修复周期长,对工程运行造成更大的压力。通过研究适合区域特点的检测与修复技术,不仅可以提升电缆运行的可靠性和安全性,还能降低运营成本,优化资源配置,为区域水利水电工程的可持续发展提供有力支撑。

1.2 研究目标

本文以江苏省水利水电工程为研究对象,系统分析电缆线路常见故障的成因及类型,评估现有故障检测与修复技术的适用性,提出区域优化方案。研究目标是设计一套高效、经济的故障检测与修复技术体系,结合实际案例验证其效果,并为其他地区类似工程提供技术借鉴和理论支持。

2 江苏省水利水电工程概况

2.1 工程分布与运行现状

江苏省河湖众多,水系发达,水利水电工程规模较大,涵盖泵站、水库、河道治理等多种形式。这些工程中,电缆线路作为电力输送和设备运行的重要通道,分布范围广、类型多样。目前,区域内水利水电工程的电缆线路主要包括地理电缆和架空电缆,其中地理电缆因埋设条件复杂,更易受到环境因素的影响。运行数据显示,部分老旧工程的电缆线路已出现不同程度的绝缘老化和机械损伤问题,亟需技术升级和管理优化。

2.2 常见电缆故障类型与特点

结合江苏省水利水电工程的运行环境,电缆故障主要表现为以下几类:第一,绝缘老化和破损,这是长期运行中最常见的问题,多由高湿度环境和电缆超负荷运行引起;第二,机械损伤和外力破坏,主要来源于施工不当和外部冲击,如河道整治施工对地下电缆的误伤;第三,接头过热和连接不良,这类故障在高负荷运行和连接工艺不完善时尤为突出。这些故障类型通常具有隐蔽性强、定位困难、维修周期长的特点,对工程的正常运行带来显著威胁。

2.3 故障对水利水电工程的影响

电缆故障对水利水电工程的影响体现在多个方面。首先是对工程运行安全的直接威胁,故障可能导致电力供应中断,影响设备正常运行,甚至引发水泵停运等严重后果。其次是对工程经济效益的影响,频繁的电缆故障增加了维修成本,延长了工程建设和维护周期,降低了整体经济效益。此外,故障的长期存在可能对区域经济发展和居民生活造成间接影响,特别是在洪水调控和农业灌溉等关键时期。

3 电缆线路故障检测技术

3.1 示波反射与定点测试技术

示波反射法和定点测试技术是传统电缆故障检测的两种主要手段。示波反射法通过向电缆注入脉冲信号,分析信号反射的位置来确定故障点,其操作简便、结果直观,但在长距离或复杂故障场景中,定位精度较低。定点测试技术通过逐段检测方式,逐步缩小故障范围,适用于短距离电缆或简单故障类型。然而,这两种方法在面对江苏省复杂地质条件和潮湿环境时,往往难以快速定位故障点,对工程运行的实时性和精准性提出了挑战^[1]。

3.2 局部放电与红外成像技术

局部放电检测技术通过监测电缆内部的微小放电信号,可以在故障形成早期识别潜在风险。该技术在江苏省某水泵站电缆检测项目中试点应用,成功定位多处绝缘老化故障点,显著提高了检测效率。红外成像技术利用红外热像仪检测电缆表面温度分布,快速定位过热区域,尤其适用于高负荷运行期间的电缆

监测。该技术在江苏省部分潮湿环境中的实践表明,其检测速度快且适应性强,是保障电缆安全运行的有力工具。

3.3 智能化在线监测系统

智能化在线监测系统通过传感器网络实时采集电缆的运行数据,并结合大数据分析 with 人工智能算法,能够提前预测潜在故障^[2]。这一技术在江苏省部分重点水利枢纽工程中进行了应用试验,实时性和预测能力得到了充分验证。系统不仅可在故障发生前提供预警,还能减少人工检测的时间和成本。特别是对于长距离电缆线路,该技术在提高故障检测效率的同时,有效降低了维护费用。

3.4 检测技术的综合应用与评价

不同检测技术在效率、精度和适用场景方面各有特点。在江苏省水利水电工程中,仅依赖单一检测技术难以全面满足需求。传统技术虽具备较低的成本,但在复杂条件下的精度不足;先进技术则在高精度和实时性上具有明显优势,但设备费用较高。基于区域特点,建议采用“传统+先进”技术的组合模式,例如在常规检测中使用局部放电检测与红外成像技术,而在关键线路节点布置智能化在线监测系统。通过多种技术的协同应用,可以实现精准、经济、高效的电缆故障检测,保障水利水电工程的长期稳定运行。

4 电缆线路故障修复技术

4.1 短期恢复:快速修复技术

快速修复技术以故障点定位和临时性修复为核心,主要应用于紧急情况下的供电恢复。在江苏省某泵站突发电缆断路的案例中,工程团队通过便携式检测设备迅速确定故障位置,并采用高效绝缘修复工艺,在短短3小时内恢复了供电。这类技术的优点在于操作快速,适合处理突发性故障,但由于仅对故障点进行处理,难以解决电缆老化或潜在隐患,更多地作为应急方案使用。

4.2 长期保障:局部修复与全线路更换

局部修复技术适用于电缆老化或局部损伤的情况,通过替换故障段实现线路的局部功能恢复。在江苏省某水库输电线路工程中,局部修复技术成功替换了50米老化电缆段,大幅降低了故障率并延长了线路使用寿命。全线路更换则用于电缆整体性能严重下降的场景,例如某老旧灌溉泵站中,工程团队通过全面更换老化电缆,不仅提升了系统可靠性,还适应了未来电力负荷的增长需求。这两种方法可根据工程需求灵活选用,结合使用时效果更显著。

4.3 标准化流程:修复工艺优化

标准化修复流程是提升修复效率和质量的关键。在江苏省某重点水利工程中,修复过程严格遵循“故障定位—方案设计—材料准备—施工修复—验收检测”的五步流程。为应对复杂地质条件,工程团队选用了高耐磨、高绝缘的新型材料,并首次引入电缆修复机器人进行操作,显著提高了安全性和施工精度。同时,通过修复后的全面检测环节,确保了修复电缆的性能达标,为类似工程提供了可借鉴的流程模板。

4.4 成功实践：典型案例分析

江苏省某河道治理工程的电缆故障频发严重影响了泵站运行。工程团队采用“快速修复+局部修复”的综合技术方案，首先通过快速修复技术临时恢复供电，随后对线路中存在隐患的关键段进行局部替换。最终，该工程的供电稳定性提升了25%，线路故障率下降了30%，维护成本节约了约20%。该案例充分体现了综合修复技术的实用性和经济性，为区域内类似工程的修复提供了可复制的经验。

4.5 推进升级：修复技术发展方向

为进一步优化电缆线路修复技术，建议从以下几个方面推进：第一，推广高性能环保绝缘材料的应用，提高修复后的电缆耐久性；第二，加强智能化设备的研发和应用，例如进一步优化电缆修复机器人功能，降低施工风险^[3]；第三，构建区域协同管理机制，整合技术资源，提升跨部门协作效率。通过这些措施，不仅能提升技术水平，还可加快江苏省水利水电工程修复技术的标准化和推广进程。

5 技术优化与创新

5.1 智能化检测技术的提升

随着大数据与人工智能技术的广泛应用，电缆故障检测逐步迈向智能化。在江苏省水利水电工程中，智能在线监测系统已成为关键线路监测的重要手段。该系统通过传感器实时采集电缆运行数据，利用人工智能算法进行故障预测与诊断，有效减少了突发故障的发生率。与传统检测方法相比，智能化技术显著提升了检测效率和精准性，尤其在长距离线路和隐蔽故障中表现出色，为工程的安全运行提供了有力保障。

5.2 修复技术的材料与工艺创新

修复技术的优化重点在于新材料的研发与施工工艺的改进。在江苏省的某大型水利枢纽工程中，工程团队引入了高分子环保绝缘材料，显著提升了修复电缆的耐久性和抗老化能力。此外，机器人辅助修复技术的应用，不仅提高了施工精度，还有效降低了人工操作风险，特别是在复杂地质条件下的优势尤为明显。这些材料和技术的创新，不仅增强了电缆线路修复的经济性与实用性，也为其他区域的类似工程提供了可借鉴的经验。

5.3 区域化综合方案的优化

在多样化的工程环境中，仅依靠单一技术难以应对复杂的电缆故障。江苏省水利水电工程通过“检测-分析-修复”一体化综合解决方案的实施，实现了多技术联动的高效故障处理。例如，通过智能化在线监测系统及时发现潜在故障隐患，并结合机器人修复技术与新型绝缘材料进行精准修复，有效缩短了故障处理时间，提升了工程运行的稳定性。综合方案的成功实践，不仅满足了区域工程的实际需求，还优化了修复的经济性和可持

续性。

5.4 技术推广与未来发展方向

基于江苏省的成功经验，修复技术的推广应重点关注以下方面：一是扩大智能化设备的应用范围，完善电缆运行状态实时监测体系；二是推进环保型修复材料的普及，提高修复质量与环境友好性；三是建立跨区域协作机制，整合技术资源，加速技术标准化进程。未来，随着人工智能和绿色材料技术的进一步发展，水利水电工程中的电缆故障检测与修复技术将在更广泛的场景中得到应用。

6 结论与展望

本文针对水利水电工程中的电缆线路故障，结合江苏省实际情况，系统分析了电缆线路故障的成因及常见类型，评估了传统检测技术与智能化技术、新型材料与自动化修复工艺的适用性，并提出了“检测-分析-修复”一体化综合解决方案。研究表明，传统检测技术具有一定成本优势，但在复杂故障和长距离电缆的应用中存在不足；而智能化在线监测系统通过实时数据采集与分析，显著提升了故障定位的精准度和效率。在修复方面，新型环保绝缘材料和机器人辅助技术提高了施工精度和耐久性，综合方案在实际案例中展现出良好的经济性和推广价值。

未来，应进一步推动检测和修复技术的智能化与绿色化发展。一方面，优化在线监测系统的算法模型，提升故障预测的准确性和实时性；另一方面，加强环保型材料的研发与普及，提高其在恶劣环境下的适用性。同时，建议构建区域协作机制，推动技术标准化与经验共享，促进技术在更大范围内的推广应用。此外，针对极端天气和复杂地质条件，应开展专项研究，开发低成本、高效率的创新解决方案。随着人工智能、大数据和新材料技术的不断进步，电缆线路的检测与修复将进一步向智能化、自动化方向发展，为水利水电工程的安全、高效、可持续运行提供更强大的技术保障。

[参考文献]

- [1] 王晓愚. 浅析电力电缆故障诊断与监测[J]. 通讯世界, 2019, 26(01): 173-174.
- [2] 任广振. 基于大数据分析的电缆在线监测系统的开发与应用——评《输电线路在线监测与故障诊断》[J]. 科技管理研究, 2022, 42(22): 215.
- [3] 郑雨翔, 杨劲业, 张润骏, 等. 配网电缆线路的运行与维护管理探讨[J]. 科技风, 2024, (12): 73-75.

作者简介:

王子瑒(1994--), 男, 汉族, 江苏宿迁人, 本科, 工程师, 研究方向: 水利工程运行管理、水利水电、电气试验、自动化维护管理、水利工程维修养护等。