

# 混凝土大坝裂缝监测与修复技术探讨

侯昊呈

贵州晟泰工程咨询有限公司

**摘要：**通过开展裂缝监测研究，可以及时发现大坝结构的异常情况，提前预警风险，为维护大坝的安全稳定提供技术支持。同时，通过开展裂缝修复技术的研究，可以有效地修复裂缝，恢复大坝的结构完整性和稳定性，保障大坝的长期安全运行。随着科技的不断进步，未来的混凝土大坝裂缝监测与修复技术将会更加先进、精准和可靠，为保障水利工程的安全稳定运行提供更好的技术保障。

**关键词：**混凝土；大坝；裂缝监测；修复技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.05.011

## 引言

混凝土大坝是重要的水利设施，其安全稳定关乎人民生命财产安全和国家经济发展。然而，由于各种因素，如自然灾害、地质构造等，混凝土大坝常常会出现裂缝问题，导致大坝的承载能力下降，安全风险增加。因此，如何及时有效地监测和修复裂缝问题成为当前亟待解决的技术难题。本文将探讨混凝土大坝裂缝监测与修复技术的现状和发展趋势，旨在为相关领域的研究和应用提供参考和借鉴。

## 一、混凝土大坝裂缝监测技术

### （一）监测技术的分类

混凝土大坝是水利工程中最常见的工程类型之一，但由于其长期受到水压和温差等外部因素的影响，可能会出现裂缝问题。为了避免裂缝对大坝的损害，需要对大坝进行裂缝监测。裂缝监测是通过对大坝的裂缝进行定期检测和分析，及时发现和处理可能存在的裂缝问题，从而保障大坝的安全性。裂缝监测技术主要包括传统监测技术和现代监测技术两类。传统监测技术主要包括目视观测、尺寸测量、水准测量和定位测量等，这些技术简单易行，但精度较低，难以实现自动化监测和实时预警。而现代监测技术则包括激光扫描仪监测技术、激光雷达监测技术、微波干涉监测技术、光纤传感监测技术、卫星遥感监测技术等，这些技术具有高精度、高效率、自动化等优点，能够更准确地检测到裂缝的位置、形态、大小等参数，实现对大坝裂缝的全方位监测，提高大坝的安全性。

### （二）监测技术的原理和方法

**裂缝监测的原理：**混凝土大坝在长期使用过程中，由于自然环境、地震等因素的影响，会产生不同程度的裂缝。因此，裂缝监测的原理就是通过监测大坝表面的裂缝形变，了解大坝的变形和裂缝演化情况，及时发现和处理大坝安全隐患。

**监测方法：**为了实现混凝土大坝裂缝监测，需要采用不同的监测方法。常见的监测方法包括传统监测手段、激光扫描监测、无损检测技术、机械原理、光学原理和电学原理等。其中，激光扫描监测技术可以实现高精度的三维模型重建和裂缝变形监测；无损检测技术可以利用X射线、超声波、电磁波等进行裂缝的检测和分析；机械原理可以通过悬臂梁式裂缝计、移位传感器等监测设备，测量裂缝间的相对位移；光学原理可以通过测量光栅、位移传感器等装置，实现裂缝的形变监测；电学原理可以通过应变计、电测电缆等装置，实现裂缝变形的电学监测。

## 二、混凝土大坝裂缝修复技术

混凝土大坝裂缝的修复技术主要包括结构加固、注浆灌浆、粘贴加固和预应力加固等几种技术。其中，结构加固技术主要是通过对大坝结构进行加固，提高大坝的承载能力，以减小裂缝的发生和扩展。注浆灌浆技术则是通过对裂缝进行注浆灌浆，填充裂缝，加固大坝结构，提高大坝的整体稳定性。粘贴加固技术则是将特制的玻璃纤维布粘贴在大坝裂缝处，形成一层特殊的加固层，增强大坝的抗震性和抗裂性。预应力加固技术则是通过在大坝结构中施加预应力，增加大坝的整体强度和刚度，提高大坝的承载能力。

注浆灌浆技术是目前应用较为广泛的一种混凝土大坝裂缝修复技术。其原理是在裂缝处进行注浆灌浆，填充裂缝，使裂缝处的混凝土形成一个整体，提高大坝的稳定性和承载能力。注浆灌浆技术的具体方法是通过在裂缝处钻孔，然后在孔道中注入水泥浆或环氧树脂等材料，填充裂缝，加固大坝结构。在注浆灌浆的过程中，需要控制注浆压力、注浆速度和注浆量等参数，确保注浆灌浆质量达到设计要求。

粘贴加固技术是一种较新的混凝土大坝裂缝修复技术。其原理是在大坝裂缝处粘贴一层特制的玻璃纤维布，然后涂刷环氧树脂等材料进行固化，形成一层特殊的加固层，提高大坝的抗震性和抗裂性。粘贴加固技术的具体方法是首先对裂缝处进行清理和处理，然后将特制的玻璃纤维布粘贴在裂缝处并涂刷环氧树脂，再进行固化和加固处理。在粘贴加固的过程中，需要控制粘贴层的厚度、材料的品质和粘贴的牢固程度等参数，确保粘贴加固质量达到设计要求。

## 三、混凝土大坝裂缝监测与修复技术的结合应用

### （一）监测与修复技术的结合应用的原理和方法

混凝土大坝裂缝监测与修复技术的结合应用的原理和方法包括以下几个方面：

监测原理：通过安装高精度、高灵敏度的裂缝监测仪器，对大坝裂缝位置、大小、形态等参数进行实时监测和数据采集。监测仪器可以通过激光或者光电传感器等技术获取裂缝的形态和位置信息，通过数据采集和处理，可以及时掌握大坝裂缝的变化情况。

修复原理：混凝土大坝裂缝修复的原理是通过填充裂缝或者对裂缝周围的混凝土结构进行加固处理，来增强大坝结构的承载能力和稳定性，以达到裂缝修复的目的。具体修复方法包括注浆灌浆技术和粘贴加固技术等。

方法应用：根据监测数据分析，结合裂缝的位置、大小和形态等信息，采用注浆灌浆和粘贴加固等技术进行裂缝修复和加固处理。注浆灌浆材料采用高强度、高韧性的聚氨酯树脂材料，能够有效填充裂缝，增强大坝结构的承载能力和稳定性。粘贴加固采用高强度、高黏性的玻璃钢或碳纤维材料，能够有效增强裂缝周围的混凝土结构的承载能力和抗震性能。修复后，再次进行裂缝监测，以评估修复效果，并采取相应的措施进行调整和优化。

(二) 监测与修复技术的结合应用的实施案例

某水利工程大坝裂缝监测与修复工程，混凝土大坝，监测措施：采用高精度、高灵敏度的裂缝监测仪器，对大坝裂缝位置、大小、形态等参数进行实时监测和数据采集。同时，定期对监测数据进行统计和分析，及时掌握大坝裂缝的变化情况。

采用注浆灌浆、粘贴加固等技术进行裂缝修复和加固处理。具体措施包括：(1) 采用注浆灌浆技术，对裂缝进行填充和固化处理。注浆灌浆材料采用高强度、高韧性的聚氨酯树脂材料，能够有效填充裂缝，增强大坝结构的承载能力和稳定性。(2) 采用粘贴加固技术，对裂缝周围的混凝土结构进行加固处理。粘贴加固采用高强度、高黏性的玻璃钢或碳纤维材料，能够有效增强裂缝周围的混凝土结构的承载能力和抗震性能。

根据监测数据显示，该水利工程大坝存在多处裂缝，裂缝数量较多，严重影响了工程的安全稳定性。其中，最大的一处裂缝长度达到了30cm，宽度达到了2cm。针对该问题，工程技术人员采用了注浆灌浆和粘贴加固技术进行修复和加固处理，随后对大坝进行了再次监测。经过修复和加固处理后，大坝裂缝数量明显减少，裂缝长度和宽度也得到了有效控制。具体监测数据如下表1：

表1 具体监测数据

监测时间	裂缝数量	最大裂缝长度	最大裂缝宽度
2020年1月	15	30cm	2cm
2021年1月	5	15cm	1cm
2022年1月	2	5cm	0.5cm

从监测数据可以看出，经过修复和加固处理后，大

坝裂缝数量明显减少，裂缝长度和宽度也得到了有效控制，大坝结构的稳定性和承载能力得到了明显提高。该水利工程大坝因长期受到水流的冲刷和水压力的影响，形成了多处裂缝，严重影响了大坝的安全稳定性。为了确保大坝的安全运行，工程技术人员采用了混凝土大坝裂缝监测与修复技术的结合应用，对大坝进行了裂缝监测和修复加固处理。

首先，工程技术人员采用高精度、高灵敏度的裂缝监测仪器，对大坝裂缝位置、大小、形态等参数进行实时监测和数据采集。同时，定期对监测数据进行统计和分析，及时掌握大坝裂缝的变化情况。监测数据显示，该水利工程大坝存在多处裂缝，裂缝数量较多，严重影响了工程的安全稳定性。针对该问题，工程技术人员采用了注浆灌浆和粘贴加固技术进行修复和加固处理。具体措施包括：采用注浆灌浆技术，对裂缝进行填充和固化处理；采用粘贴加固技术，对裂缝周围的混凝土结构进行加固处理。注浆灌浆材料采用高强度、高韧性的聚氨酯树脂材料，能够有效填充裂缝，增强大坝结构的承载能力和稳定性。粘贴加固采用高强度、高黏性的玻璃钢或碳纤维材料，能够有效增强裂缝周围的混凝土结构的承载能力和抗震性能。经过修复和加固处理后，大坝裂缝数量明显减少，裂缝长度和宽度也得到了有效控制。具体监测数据显示，经过修复和加固处理后，大坝裂缝数量明显减少，裂缝长度和宽度也得到了有效控制，大坝结构的稳定性和承载能力得到了明显提高。

四、混凝土大坝裂缝监测与修复技术的发展趋势

(一) 监测与修复技术的发展趋势

随着科学技术的不断发展和进步，混凝土大坝裂缝监测与修复技术也在不断创新和发展。未来的发展趋势主要体现在以下几个方面：(1) 自动化监测技术的应用：随着智能化和自动化技术的发展，未来的裂缝监测仪器将更加智能、自动化，减少人工干预，提高监测的准确性和效率。(2) 无损检测技术的应用：未来的裂缝监测技术将逐渐采用无损检测技术，如水声检测、电磁波检测等，提高监测的灵敏度和准确性，减少对大坝结构的破坏和影响。(3) 新型修复材料和技术的应用：未来的裂缝修复技术将采用更加先进、高效的修复材料和技术，如纳米材料修补、激光焊接等，提高修复的质量和效率，减少修复时间和成本。(4) 多学科交叉应用：未来的裂缝监测与修复技术将与计算机、材料学、机械工程等多学科进行交叉应用，实现全方位的监测和修复，提高大坝的安全稳定性和承载能力。总之，未来混凝土大坝裂缝监测与修复技术将不断创新和发展，为保障水利工程的安全稳定提供更加先进、高效的技术支持。

(二) 监测与修复技术的未来研究方向

(1) 多参数监测：多参数监测是未来混凝土大坝

裂缝监测技术的一个重要方向。传统的裂缝监测技术主要关注裂缝的位置、大小、延伸方向等基本参数，但这些参数并不能完全反映大坝结构的状况。因此，未来的监测技术将进一步扩展监测参数，涉及温度、湿度、应力、振动等多个方面，以更全面、准确地了解大坝的结构状况。温度和湿度是影响大坝结构稳定的重要因素之一，未来的监测技术将加强对这两个参数的监测。通过实时监测大坝表面温度和湿度，可以及时发现温度和湿度变化对结构的影响，提前预警风险，避免事故发生。应力和振动也是大坝结构稳定性的重要参数。未来的监测技术将采用高精度传感器，对大坝内部和外部的应力和振动进行监测和分析。通过分析应力和振动的变化规律，可以及时发现结构的疲劳、变形和破坏等问题，提高监测的预警能力和准确性。

(2) 长期监测：长期监测是未来混凝土大坝裂缝监测技术的另一个重要方向。传统的裂缝监测技术主要关注短期内的裂缝变化情况，无法全面反映大坝结构的长期变化趋势。因此，未来的监测技术将注重长期监测，通过长时间的数据采集和分析，深入挖掘大坝结构的变化规律，提高监测的预警能力和准确性。长期监测的实现需要采用可靠的监测设备和数据采集系统，并建立完善的数据管理和分析平台。通过监测数据的连续采集和分析，可以及时发现大坝结构的变化趋势和异常情况，提前预警风险，避免事故的发生。长期监测还需要结合大坝的使用情况和维护保养计划，制定合理的监测方案和数据分析方法。同时，还需要建立有效的沟通机制，及时向相关部门和人员汇报监测结果，协调相关的维护和修复工作，确保大坝的安全稳定运行。

(3) 智能化监测：随着人工智能、物联网和云计算等技术的不断发展和应用，未来的裂缝监测技术将进一步实现智能化。传感器、摄像头、雷达等监测设备将更加智能化，实现自动化的数据采集和处理，能够自主识别和报告异常情况。此外，监测数据也将更加实时化，能够通过云端服务和移动终端实现远程监测和管理。而且，通过人工智能技术的应用，监测数据可以进行更加准确的分析和判断，从而实现更加精准的预警和预测。这将极大地提高裂缝监测的效率和准确性，为大坝的安全提供更加全面的保障。

(4) 新型修复材料和技术：例如，生物材料作为一种新型的修复材料，具有良好的生物相容性和可降解性，可以降低对环境的影响，符合可持续发展的理念。另外，智能材料可以自我修复，具有自愈合的功能，可以提高修复效率和准确性。3D打印技术可以制造出符合具体裂缝形态的修复材料，能够实现更加精细的修复。这些新型材料和技术的应用，可以在保证修复效果的同时，提高修复的效率和质量，降低修复成本，同时也更加符合人们对于绿

色环保和可持续发展的需求。

(5) 多学科交叉研究：裂缝监测与修复技术将与多学科进行交叉研究，如机械工程、计算机、材料学、地质学等，以实现全方位、多层次的裂缝监测和修复，提高大坝的安全稳定性和承载能力。例如，通过与计算机科学和人工智能学科的交叉研究，可以提高裂缝监测技术的自动化和智能化程度；与材料学科的交叉研究可以开发出更加环保、高效、可持续的修复材料和技术；与地质学科的交叉研究可以更好地了解大坝周围的地质环境，为裂缝监测和修复提供更加准确的数据和技术支持。因此，多学科交叉研究将成为未来裂缝监测与修复技术发展的重要趋势。总之，未来的混凝土大坝裂缝监测与修复技术将不断创新和发展，为保障水利工程的安全稳定提供更加先进、高效的技术支持。

## 五、结论

综上所述，混凝土大坝裂缝监测与修复技术的研究具有重要的背景和意义。传统的裂缝监测技术和修复方法已经不能满足现代大坝的需求，未来的裂缝监测技术将会更加先进、精准和可靠，包括多参数监测和长期监测。同时，现代的裂缝修复技术也在不断发展，包括表面修复和内部修复两种方法，以及采用纳米材料修复的新技术。这些技术的不断发展和完善，为保障混凝土大坝的安全稳定运行提供了更好的技术支持。然而，混凝土大坝裂缝监测与修复技术的研究还存在着一些问题和挑战，如技术成本高、数据管理和分析困难、维护管理不到位等。因此，未来需要进一步加强科技创新和人才培养，提高技术的应用和推广水平，加强维护管理和风险防控，为混凝土大坝的安全稳定运行提供更加可靠的技术保障。

## 参考文献

- [1] 江怀雁. 混凝土闸墩裂缝扩展性分析[J]. 大坝与安全, 2013, (03): 20-22.
- [2] 王淑花. 浅谈混凝土大坝裂缝原因分析与预防措施[J]. 河南科技, 2010, (14): 19.
- [3] 叶祥君. 水库大坝混凝土裂缝成因分析及控制对策[J]. 中国新技术新产品, 2010, (14): 84.
- [4] 刘新浩. 水库大坝混凝土防裂施工要点探讨[J]. 山西建筑, 2009, 35(24): 362-364.
- [5] 王显治. 混凝土重力坝抗震配筋及抗震设防标准研究[D]. 河海大学, 2007.
- [6] 徐福卫, 田斌. 大坝背管混凝土裂缝前馈网络的预测研究[J]. 水电能源科学, 2006, (02): 52-54+73+4.

作者简介：侯昊呈（1991.11-），男，汉，贵州省盘州市人，本科，工程师，研究方向：水利水电工程。