

# 大坝混凝土裂缝检测与评估方法研究

王凤鹏

新疆兵团水科院(有限公司) 新疆 乌鲁木齐 730900

**摘要:** 混凝土裂缝是混凝土工程结构中最常见的问题之一,特别是在混凝土大坝中,裂缝的出现和发展会对大坝的整体性、防渗性和应力状态等造成严重影响,威胁大坝的运行安全。因此,对大坝混凝土裂缝的检测与评估方法研究具有重要的理论和实际意义。本文综述了大坝混凝土裂缝检测与评估的常用方法,并探讨了其优缺点及适用范围,旨在为大坝安全监测和维护提供参考。

**关键词:** 大坝混凝土; 裂缝检测; 裂缝评估; 机器视觉; 超声波法; 钻孔取芯法

## 1 大坝混凝土裂缝检测方法

### 1.1 人工观测法

人工观测法作为大坝混凝土裂缝检测中最常见且基础的方法,其核心在于依靠观测人员的目视检查来评估裂缝的各种参数。人工观测法主要依赖于观测人员的视觉感知和经验判断。观测人员通过仔细巡视大坝混凝土表面,利用肉眼或辅助工具(如放大镜、尺子等)来观察裂缝的形态、长度、宽度和深度等特征。裂缝的形态可能包括直线型、曲线型、分叉型等,这些形态往往反映了裂缝产生的原因和发展趋势。长度则是裂缝在混凝土表面延伸的距离,是评估裂缝规模的重要指标。宽度和深度则是判断裂缝对大坝结构安全性影响程度的关键因素,通常需要通过测量工具进行准确量取。在观测过程中,观测人员需要详细记录裂缝的各项参数,包括位置、方向、长度、宽度、深度以及裂缝表面的情况等。这些数据为后续的裂缝分析、评估和处理提供了重要依据。同时,观测人员还需要注意观察裂缝周围混凝土的变化情况,如是否有剥落、渗水等现象,这些都可能是裂缝发展的前兆。尽管人工观测法具有操作简单、成本低廉的优点,但其也存在一些明显的局限性。首先,观测时间长,因为需要观测人员仔细巡视大坝的各个部位,特别是对于一些隐蔽或难以接近的地方,观测难度更大。其次,操作繁琐,需要观测人员具备较高的耐心和细心,以确保观测结果的准确性。此外,测量精度受观测人员水平影响较大,不同观测人员可能对同一裂缝的参数测量存在差异<sup>[1]</sup>。最后,人工观测法难以实现连续、实时的监测,因为需要观测人员定期或不定期地进行巡视,无法实时掌握裂缝的发展情况。

### 1.2 仪器观测法

#### 1.2.1 机器视觉技术

机器视觉技术正逐渐成为大坝混凝土裂缝监测的前

沿手段。这项技术利用高分辨率摄像头和尖端图像处理算法,对混凝土坝表面的裂缝进行实时、高精度的监测。为了确保监测的准确性和适应性,系统设计时充分考虑了摄像头的视角、焦距以及大坝表面的曲率等因素。这使得系统能够在各种复杂的监测环境中灵活运用,提高了其实用性和可靠性。监测过程中,摄像头捕捉的裂缝图像会实时传输至计算机处理系统。系统通过一系列图像处理步骤,如去噪、增强对比度等预处理,以及裂缝边缘、形状等特征的提取,最终利用机器学习或深度学习技术准确识别裂缝。实验数据表明,机器视觉裂缝监测系统的性能卓越。其裂缝宽度检测的绝对误差控制在0.3mm以内,相对误差不超过5%,远超传统人工观测法的精度。同时,系统的高效处理能力使得大量裂缝的检测和分析工作得以迅速完成,显著提升了监测效率。此外,该系统还具备实时监测、自动化处理和数据可视化等优势。一旦裂缝出现或发展,系统会立即发出警报,实现及时响应。数据可视化功能让监测结果更加直观易懂,为决策提供了有力支持。

#### 1.2.2 测缝计和裂缝计

测缝计和裂缝计是监测混凝土裂缝变形和扩展的常用仪器,在大坝安全监测中发挥着重要作用。这些仪器可以精确布置在大坝上具有代表性的部位,如拱坝的接缝处,以捕捉裂缝发展的关键信息。振弦式和差阻式测缝计是两种常见的裂缝监测仪器,精度通常可以达到0.1mm左右。振弦式测缝计通过振弦的振动频率变化反映裂缝开度变化,而差阻式测缝计则通过电阻值的变化来测量裂缝开度。在地震等极端情况下,这两种测缝计能够实时、准确地捕捉到裂缝的快速变化,为大坝的安全评估提供重要依据。

#### 1.2.3 声波检测技术

声波检测技术是一种非破坏性的裂缝检测方法,它

利用声波在混凝土中的传播特性来推断裂缝的存在和深度。声波检测技术包括超声表面平测法、钻孔对测法和稳态表面波裂缝检测仪等多种方法。超声表面平测法是通过在混凝土表面布置超声波发射器和接收器,测量超声波在跨缝与不跨缝情况下的传播时间差,从而推断出裂缝的深度。这种方法操作简便,适用于表面裂缝的检测。钻孔对测法则是通过在混凝土中钻孔,并在孔中布置超声波发射器和接收器,进行对测。这种方法能够更准确地测量裂缝的深度,特别适用于大体积混凝土中的深层裂缝检测。稳态表面波裂缝检测仪则是一种利用表面波在混凝土中传播的特性来检测裂缝的仪器。当表面波遇到裂缝时,会发生反射和散射,通过测量这些反射和散射波的特性,就可以推断出裂缝的位置和深度<sup>[2]</sup>。对穿声波法是声波检测技术中的一种重要方法,它能够准确测定混凝土裂缝的深度。这种方法具有精度高、成本低、基本无损伤等优点,因此在大坝混凝土裂缝检测中得到了广泛应用。通过对穿声波法的检测,可以及时了解大坝混凝土裂缝的发展情况,为大坝的安全运行提供有力保障。

#### 1.2.4 光纤传感技术

光纤传感技术,特别是分布式光纤传感技术,在大坝混凝土裂缝监测中展现出了独特的优势。这种技术能够实现空间立体监测和连续性监测,对大坝结构中的隐患进行实时、准确的预警。分布式光纤传感技术通过在大坝内部或表面布置光纤传感器,利用光纤对温度、应变等物理量的敏感特性,实时监测大坝的状态变化。当大坝混凝土出现裂缝时,裂缝处的应变和温度分布会发生变化,这些变化会被光纤传感器捕捉到,并转化为光信号进行传输和处理。以三峡工程为例,通过光纤传感技术,工程师们成功获取了大坝的温度场监测数据。这些数据不仅反映了大坝内部的温度分布情况,还揭示了裂缝可能产生的位置和范围。通过对这些数据的分析,工程师们能够及时了解大坝的状态变化,对潜在的裂缝隐患作出预警,并采取相应的措施进行修复和加固。光纤传感技术的优点在于其高灵敏度、高分辨率和长距离监测能力。它能够实时监测大坝的微小变化,及时发现并预警潜在的裂缝隐患,为大坝的安全运行提供了有力保障。

#### 1.2.5 视频监控技术

视频监控技术作为一种直观、实时的监测手段,在大坝混凝土裂缝监测中也得到了广泛应用。这种技术利用视频传输的实时画面,捕捉大坝表面的裂缝情况,并通过图像处理算法提取裂缝的宽度等参数进行分析。视

频监控系统通常由摄像头、视频传输设备、图像处理软件和报警系统组成。摄像头负责捕捉大坝表面的实时画面,视频传输设备将画面传输到监控中心进行处理和分析。图像处理软件则利用先进的算法对画面进行去噪、增强等预处理操作,然后提取裂缝的宽度等特征参数。当裂缝宽度超过设定的阈值时,系统会立即发出报警信息,提醒相关人员及时处理。视频监控技术的优点在于其直观性、实时性和准确性。它能够实时捕捉大坝表面的裂缝情况,及时发现并报警潜在的裂缝隐患。特别是在坝体崩塌前,裂隙的识别和预警对于防止灾害的发生至关重要。视频监控技术能够为大坝的安全管理提供有力的支持,确保大坝的安全运行。

#### 1.3 钻孔取芯法

钻孔取芯法作为一种直接且准确的裂缝检测方法,在大坝混凝土裂缝监测中具有其独特的地位。这种方法通过在大坝混凝土中预定位置钻孔,并取出包含裂缝的芯样,从而直观地观察裂缝的形态、深度以及产状。具体来说,钻孔取芯法需要使用专业的钻孔设备,在大坝混凝土上钻取一定直径和深度的孔。钻孔过程中,需确保孔壁的光滑和垂直度,以便后续芯样的顺利取出。取出芯样后,技术人员可以对芯样进行细致的观察和测量,准确记录裂缝的位置、形态、宽度和深度等信息。这些信息对于评估大坝混凝土的结构安全性和裂缝的发展趋势至关重要。然而,钻孔取芯法也存在一些明显的缺点。首先,该方法投资较大,需要专业的钻孔设备和技术人员,且钻孔过程中可能产生一定的费用。其次,钻孔取芯法的工期相对较长,因为需要逐个钻孔并取出芯样,这对于急需了解裂缝情况的工程来说可能不太适用。最后,钻孔取芯法对混凝土有一定的破坏作用,虽然这种破坏在大多数情况下是可以接受的,但在某些对结构完整性要求极高的工程中,可能需要谨慎考虑。因此,在实际工程中,钻孔取芯法通常结合其他检测方法进行,以充分发挥其准确性的优势,同时避免其缺点带来的影响。

### 2 大坝混凝土裂缝评估方法

#### 2.1 裂缝分类与评估标准

大坝混凝土裂缝的分类是基于其宽度、深度和产状等多重参数进行的,这些参数直接反映了裂缝的几何特征和其对大坝结构安全性的潜在影响。根据裂缝的宽度,可以将其细分为几个明显的类型:一般缝宽,其宽度小于0.2mm,这类裂缝通常细微且对大坝整体结构安全性影响较小;表面(浅层)裂缝,宽度在0.2mm至0.3mm之间,这类裂缝已经较为明显,可能开始影响大坝表面

的完整性和抗渗性能；表面深层裂缝，宽度在0.3mm至0.5mm之间，且裂缝深度相对较大，对大坝的结构强度产生一定影响，可能降低混凝土的承载能力；贯穿裂缝，宽度大于或等于0.5mm，且裂缝贯穿混凝土整个厚度，对大坝的安全性构成严重威胁，可能导致结构失稳、渗漏加剧等严重问题。由于不同类型的裂缝对大坝安全性的影响程度各不相同，因此需要制定相应的评估标准来准确判断裂缝的危害性。这些评估标准应综合考虑裂缝的宽度、深度、产状以及其对大坝结构强度、刚度和稳定性的影响程度等多个方面。例如，对于贯穿裂缝，评估标准可能包括裂缝的最大允许宽度、深度，以及其对大坝整体结构安全性的具体影响程度等。通过对比实际裂缝参数与评估标准，可以初步判断裂缝对大坝安全性的潜在影响，并为后续的修复和加固工作提供科学依据。同时，随着大坝运行时间的增长和外界环境的变化，评估标准也需要不断更新和完善，以确保大坝的长期安全运行。

## 2.2 裂缝对大坝安全性的影响分析

裂缝对大坝安全性的影响是多方面的，且后果可能相当严重。首先，裂缝会降低大坝混凝土的结构强度和刚度，使得大坝在承受荷载时更容易发生变形和破坏。特别是当裂缝贯穿混凝土整个厚度或位于关键受力部位时，这种影响将尤为显著。其次，裂缝的存在会破坏大坝的整体稳定性，可能导致结构失稳，甚至引发溃坝等灾难性后果。此外，裂缝还可能成为水分渗入的通道，导致大坝内部出现渗漏现象。渗漏不仅会造成水资源的浪费，还可能对大坝下游的环境和设施造成损害，同时加速混凝土的劣化和腐蚀过程。因此，对裂缝进行详细的检测和分析是至关重要的。这通常需要通过专业的检测设备和技术手段，对裂缝的宽度、深度、产状等参数进行准确测量和记录<sup>[3]</sup>。在此基础上，还需要建立有限元模型，进行数值模拟分析，以评估裂缝对大坝安全性的具体影响。通过模拟大坝在荷载作用下的应力分布和变形情况，可以更加直观地了解裂缝对大坝结构的影响程度，为后续的修复和加固工作提供科学依据。

## 2.3 裂缝处理与加固建议

根据裂缝的详细评估结果，可以制定出针对性的处

理与加固建议，以确保大坝的安全稳定运行。对于一般缝宽和表面（浅层）裂缝，由于其对大坝整体结构安全性的影响相对较小，可以采用一些相对简单的修复方法。例如，表面处理是一种常用的方法，通过涂抹防水涂料或防腐材料，可以有效防止水分渗入裂缝，减缓混凝土的劣化过程。另外，嵌缝也是一种有效的修复方法，它通过使用专用的嵌缝材料，将裂缝填充密实，恢复混凝土的完整性。然而，对于表面深层裂缝和贯穿裂缝，由于其深度较大，对大坝结构强度和稳定性的影响更为显著，需要采用更为复杂和有效的处理方法。化学灌浆是一种常用的技术，它通过将化学浆液注入裂缝中，使浆液在裂缝内扩散、固化，从而达到封堵裂缝、增强结构强度的目的。此外，预应力加固也是一种有效的加固方法，它通过在大坝混凝土中施加预应力，使混凝土处于受压状态，从而提高其抗裂性能和承载能力。在制定处理与加固建议时，我们还需要充分考虑大坝的具体情况和实际需求。例如，对于重要的水利工程或高坝，我们需要采用更为严格和可靠的处理方法，以确保大坝的长期安全运行。同时，还需要对处理后的裂缝进行定期监测和评估，及时发现并处理可能出现的新裂缝或裂缝扩展情况，确保大坝始终处于良好的运行状态。

## 结束语

大坝混凝土裂缝的检测与评估是大坝安全监测的重要组成部分。本文综述了大坝混凝土裂缝检测与评估的常用方法，并探讨了其优缺点及适用范围。随着科技的不断进步和监测技术的不断发展，未来将有更多先进、高效、无损的检测与评估方法应用于大坝混凝土裂缝的检测与评估中。这将为大坝的安全运行提供更加可靠的保障。

## 参考文献

- [1]陈建国,张文明,杨建平.基于机器学习的混凝土结构裂缝检测方法研究[J].建筑科学,2020,36(6):87-93.
- [2]王志刚,李华,张明.基于数字图像处理的混凝土结构裂缝识别与分类研究[EB/OL].(2021-08-15)[2022-05-10].
- [3]李军,韩晓明,赵丽.混凝土结构裂缝检测与评估的无损检测方法[J].结构工程师,2019,35(4):112-120.