

水利工程变形监测方法与数据分析

邓国义¹ 李振林²

1. 广西珠委南宁勘测设计院有限公司 广西 南宁 530000

2. 珠江水文水资源勘测中心 广东 广州 510000

摘要：本文综述了水利工程变形监测的重要性、常用方法以及数据分析技术。水利工程变形监测是确保工程安全稳定运行的关键环节，通过实时监测和数据分析，可以及时发现潜在的安全隐患，评估工程效益，并为工程维护提供指导。本文介绍了大地测量法、基准线测量法、遥感技术等变形监测方法，并探讨了数据预处理、统计分析、时间序列分析、数据挖掘等数据分析技术。

关键词：水利工程；监测方法；数据分析

引言

水利工程在国民经济发展中起着重要作用，涉及水资源利用、防洪抗旱、灌溉排水等多个方面。然而，由于自然环境的复杂性和工程建设的巨大性，水利工程的变形监测成为一个关键问题。变形监测可以发现潜在的安全隐患，评估工程效益，指导工程维护，确保工程的安全稳定运行。

1 水利工程变形监测方法

1.1 大地测量法

大地测量方法是水利工程变形监测中的经典且基础的方法，它承担着变形监测基准网测量、工作基点测量以及变形体本身变形监测等多重任务。这一方法以其理论体系的成熟性、数据结果的可靠性以及相对较低的观测费用，在水利工程变形监测领域占据着重要的地位。

在测量设备方面，大地测量方法主要依赖于电子水准仪和精密全站仪等高精度测量仪器。电子水准仪能够实现高精度的水准测量，确保垂直方向上的变形监测准确无误；而精密全站仪则集测角、测距、测高差于一体，为变形监测提供了全方位、多维度的数据支持。在测量方法上，大地测量法既涵盖了传统的三角测量、几何水准测量、交会测量等经典方法，也融入了现代的边角测量、三角高程测量等先进技术。三角测量通过测量三角形内角来推算边长和坐标，是确定点位和形状的基本方法；几何水准测量则利用水准仪和水准尺，通过测量两点间的高差来确定地形或建筑物的高程变化；交会测量则是通过两个或更多已知点来确定未知点的位置，适用于复杂地形的测量。而现代的边角测量和三角高程测量，则在保持高精度的同时，提高了测量的效率和便捷性^[1]。然而，大地测量方法也存在一些局限性。首先，由于需要进行大量的野外观测，观测时间较长，对人力

和物力的消耗较大，劳动强度相对较高。其次，测量精度易受观测条件的影响，如天气、地形、光照等因素都可能对测量结果产生干扰。最后，尽管现代科技的发展已经使得大地测量方法的自动化和智能化程度有所提高，但相较于一些新兴的监测技术，其自动化和智能化水平仍然较低，难以满足大规模、高效率的变形监测需求。

1.2 基准线测量法

基准线测量法是水平位移变形监测中一种极为常用且有效的方法，特别适用于土石坝、重力坝、支墩坝等直线形大坝的坝体和坝基的水平位移监测。这种方法通过设定一条或多条基准线，作为测量变形的参考，从而准确地反映出大坝在水平方向上的位移变化。在基准线测量法中，引张线法、真空激光准直法和垂线法是三种主要的观测方法。引张线法是一种通过拉紧的钢丝（即引张线）作为基准线，利用测点上的位移计或读数装置来测量测点与基准线之间的相对位移。这种方法设备简单、操作方便，且测量精度较高，特别适用于长距离、大跨度的水平位移监测。真空激光准直法则是利用激光束作为基准线，通过真空管或空气管道传输激光束，确保激光束在传输过程中不受空气扰动的影响，从而提高测量的准确性。这种方法具有测量速度快、精度高、受环境因素影响小等优点，特别适用于需要高精度测量的场合。垂线法则是通过悬挂重锤的细线（即垂线）作为基准线，利用测点上的位移计或读数装置来测量测点与垂线之间的相对位移。这种方法设备费用低、操作简便，且适用于各种复杂地形的水平位移监测。基准线测量法具有设备费用低、操作简便、测量速度快等显著特点。同时，随着科技的发展，现代化的测量技术和设备使得基准线测量法更加便于遥测自动化。通过安装传感器和自动化数据采集系统，可以实现对大坝水平位移的

实时、连续监测,大大提高了监测的效率和准确性。

1.3 遥感技术

随着科技的飞速进步,遥感技术在水利工程变形监测领域的应用日益广泛,逐渐成为一种高效、全面的监测手段。遥感监测法主要依托卫星、无人机等高空载体,这些载体搭载着高精度的传感器和摄像设备,能够定期或实时地获取水利工程的影像数据。遥感技术的核心优势在于其监测的周期短和覆盖范围广。相比传统的地面监测方法,遥感技术能够在短时间内对大面积的水利工程进行全面扫描,快速获取工程的整体变形情况。这种“天眼”般的监测方式,不仅大大提高了监测效率,还能够第一时间发现工程的潜在变形风险,为及时采取应对措施提供了宝贵的时间窗口^[2]。除了周期短和范围广,遥感技术还能够提供连续的监测数据。通过定期获取影像数据,并对这些数据进行对比分析,可以准确地追踪水利工程的变形轨迹,为工程的安全评估和维护提供科学依据。这种连续性的监测数据,对于理解工程的长期变形趋势、预测未来可能的变形情况具有重要意义。然而,遥感技术也存在一定的局限性。首先,遥感监测的精确度受到多种因素的影响,如天气条件、大气干扰、传感器精度等。在恶劣的天气条件下,如云层过厚、雾霾严重等,遥感影像的清晰度可能会降低,从而影响监测的精确度。此外,虽然遥感技术的覆盖范围广,但在某些细节方面可能无法达到地面监测的精度水平。为了克服这些局限性,科研人员正在不断提高遥感技术的精确度和可靠性。一方面,通过研发更先进的传感器和摄像设备,提高遥感影像的分辨率和清晰度;另一方面,通过优化数据处理算法和模型,提高监测数据的准确性和可靠性。

2 水利工程变形监测数据分析

2.1 数据预处理

在水利工程变形监测的数据分析流程中,数据预处理是确保后续分析准确性和可靠性的关键一环。这一步骤旨在保证所收集数据的准确性、完整性和一致性,为后续的数据分析奠定坚实基础。监测数据的收集方式因监测方法而异。对于实地观测法,现代技术的进步使得自动化系统得以广泛应用,这些系统能够实时、准确地记录监测点的变形数据,显著提高了数据的时效性和准确性。自动化系统通过内置的传感器和数据传输模块,将监测数据实时上传至数据中心,减少了人为干预,降低了数据错误的风险。遥感监测法则利用其覆盖范围广、监测效率高的优势,在水利工程变形监测中发挥着重要作用。遥感平台提供的数据处理工具使得用户可以

方便地下载、整理和存储遥感数据^[3]。这些数据包括影像、光谱等多种类型,经过专业处理后可以用于后续的数据分析。数据预处理阶段主要包括数据清洗、数据插补和数据转换三个核心步骤。数据清洗是去除数据集中重复、异常或无效数据的过程。异常数据可能由设备故障、环境干扰或数据传输错误等原因造成。通过数据清洗,可以确保数据集的纯净度,提高后续分析的准确性。数据插补是针对数据缺失问题进行的处理。在实际监测过程中,由于各种原因,如设备故障、恶劣天气等,可能导致数据缺失。数据插补通过合理的估算和补充方法,尽可能还原数据的完整性,为后续分析提供全面、准确的数据基础。数据转换则是将数据转换为适合后续分析处理的格式和标准。不同监测设备和数据来源可能产生不同格式的数据,这些数据需要进行统一转换,以便进行后续分析和处理。数据转换可能包括数据格式的转换、数据单位的统一、数据坐标系的调整等,以确保数据的一致性和可比性。

2.2 统计分析

统计分析是水利工程变形监测数据分析的重要手段,它通过对数据的深入剖析,揭示数据的内在规律和特征,为水利工程的安全管理提供有力支持。描述性统计是统计分析的基础,它通过对数据进行整理、概括和可视化,帮助人们直观地了解数据的基本特征和分布规律。通过描述性统计,可以计算出数据的均值、方差、最大值、最小值等统计指标,这些指标能够反映数据的集中趋势、离散程度和分布范围。同时,通过绘制直方图、箱线图等图表,可以直观地观察数据的分布形态和异常值情况,为后续分析提供直观依据。推论性统计则通过样本数据推断总体特征,是统计分析中不可或缺的一部分。在水利工程变形监测中,由于各种条件的限制,往往只能获取到有限的样本数据。通过推论性统计,可以利用这些样本数据来推断总体的特征,如变形量的均值、方差等。推论性统计包括参数估计和假设检验等方法。参数估计通过样本数据估计总体参数的值,为总体特征的描述提供量化依据;假设检验则用于检验关于总体的某个假设是否成立,为决策制定提供科学依据。多元统计分析则是研究多个变量之间相互关系的方法,在水利工程变形监测中具有重要应用价值。水利工程变形往往受到多个因素的影响,如水位、流量、地质条件等。通过多元统计分析,可以揭示这些因素之间的相互作用和关系,为变形机制的理解和预测提供有力支持。常用的多元统计分析方法包括回归分析、方差分析等^[4]。回归分析通过建立自变量与因变量之间的数学模

型,揭示它们之间的相关关系;方差分析则用于比较多个总体均值是否存在显著差异,判断不同因素对变形量的影响程度。这些方法能够深入挖掘数据中的信息,为水利工程的安全管理提供科学依据和决策支持。

2.3 时间序列分析

时间序列分析是一种专门用于研究时间序列数据的统计方法,它深入探究数据随时间变化的长期趋势、季节变动、循环波动和不规则变动等核心特征。在水利工程变形监测的领域中,时间序列分析发挥着至关重要的作用。通过时间序列分析,可以从变形监测数据中提取出诸多有用信息,如变形的速率、加速度以及周期性模式等。这些信息对于全面评估工程状态、揭示潜在风险以及预测未来发展趋势具有极其重要的意义。长期趋势的分析有助于了解变形是逐渐加剧、保持稳定还是呈现其他变化态势;季节变动和循环波动的探究则可以揭示变形是否受到季节性因素或周期性规律的影响;而不规则变动的分析则可能揭示出突发事件或异常状况对工程变形所产生的即时影响。在时间序列分析的方法体系中,移动平均法、指数平滑法以及ARIMA(自回归积分滑动平均)模型是几种极为常用的方法。移动平均法通过计算数据点的平均值来平滑数据序列,从而有效减少随机波动对分析结果的影响;指数平滑法则赋予近期数据更高的权重,以更准确地反映数据序列的近期变化趋势;而ARIMA模型则是一种功能强大且复杂的方法,它能够同时考虑数据的自相关性、差分性以及移动平均性,为变形预测提供更为精准的结果。

2.4 数据挖掘技术

数据挖掘技术是一种强大的工具,它能够从海量、复杂的数据中挖掘出隐含的、未知的且具有潜在应用价值的信息。在水利工程变形监测这一专业领域,数据挖掘技术展现出了其独特的魅力和优势。异常检测是数据挖掘技术在变形监测中的一个重要应用领域。在变形监测过程中,数据往往会受到各种因素的影响,从而产生一些异常值或异常模式。这些异常可能是由测量误差、设备故障、环境因素突变或工程本身的结构变化等原因引起的。通过数据挖掘技术中的异常检测算法,可以准确地识别出这些异常值或异常模式。这些异常的及时发现和处理,对于确保工程的安全稳定运行具有至关重要的意义。它可以帮助工程管理人员及时发现问题,采取

相应的措施进行修复或调整,从而避免可能的工程事故或损失。关联规则挖掘是数据挖掘技术的另一大应用领域,在变形监测数据中发挥着重要作用。变形监测数据中包含了大量的信息,如水位变化、天气条件、变形速率等。这些数据之间可能存在着一些有趣的关联和频繁模式。例如,水位的变化可能与堤坝的变形存在一定的关联性,天气条件的变化可能影响变形速率的大小。通过关联规则挖掘技术,可以揭示出这些潜在的关联和模式,为工程的运行管理提供有益的参考和决策支持。工程管理人员可以根据这些关联规则,更好地了解工程的变化规律,制定更合理的运行管理策略。分类与预测是数据挖掘技术的核心任务之一,在变形监测中也有着广泛的应用。在变形监测过程中,会积累大量的历史变形数据。这些数据中包含了变形状态、风险等级等类别信息。通过利用这些已知类别的样本数据训练分类器,可以对未知类别的样本进行预测。例如,可以根据历史变形数据训练一个分类器,用于预测未来某段时间内的变形状态或风险等级。这有助于工程管理人员提前了解工程的未来变化趋势,采取相应的预防措施,降低工程变形的风险。

结束语

水利工程变形监测是确保工程安全稳定运行的关键环节。通过合理选择监测方法,并采用适当的数据分析技术,可以及时发现工程的安全隐患,评估工程效益,为工程管理和决策提供依据。未来,随着监测技术和数据分析方法的不断进步,水利工程变形监测将更加精准、高效,为水利工程的安全运行提供有力保障。

参考文献

- [1]李逸聪,杨万伦.某放坡基坑工程变形监测数据分析[J].建材与装饰,2019(10):222-223.
- [2]李佳维,徐文年.某住宅回迁区基坑变形监测数据分析[J].电子测试,2016(09):173-174.
- [3]王宁伟,王新玲,韩旭.基于监测数据对基坑工程变形规律分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2015,31(06):1056-1065.
- [4]彭军.水利工程变形监测技术探析[J].科技与生活,2017.09
- [5]张金泉.水利工程安全及其变形监测技术探讨[J].科技信息,2016.08