

# 土木工程边坡稳定性监测与智能预警研究

熊 晟

新余市城镇发展服务中心 江西新余 338000

**摘 要：**随着土木工程建设规模的不断扩大，边坡工程数量日益增多，边坡稳定性问题成为关乎工程安全与人民生命财产的关键因素。本文深入探讨土木工程边坡稳定性监测与智能预警技术，系统分析传统监测方法与新型监测技术的特点及应用场景，构建智能化的边坡稳定性预警系统。通过融合传感器技术、物联网、大数据分析和人工智能算法，实现边坡位移、应力、地下水水位等参数的实时监测与精准分析，及时准确地对边坡失稳风险发出预警。结合实际工程案例，验证智能预警系统的有效性与可靠性，为土木工程边坡稳定性监测与预警提供科学、高效的解决方案，助力保障边坡工程安全运行。

**关键词：**土木工程；边坡稳定性；监测技术；智能预警；物联网；大数据

## 引言

在土木工程领域，边坡工程广泛存在于道路修建、水利水电工程、矿山开采等项目中。边坡的稳定性直接影响工程的安全与正常运行，一旦边坡发生失稳，可能引发滑坡、坍塌等地质灾害，造成巨大的经济损失和人员伤亡。近年来，随着基础设施建设的加速推进，越来越多的工程在复杂地质条件下开展，边坡稳定性问题愈发突出。传统的边坡稳定性监测方法在准确性、实时性和智能化程度上存在一定局限，难以满足现代工程对边坡安全监测的高要求。因此，研究先进的边坡稳定性监测技术与智能预警系统，对于保障土木工程安全、推动行业可持续发展具有重要的现实意义。

## 一、土木工程边坡稳定性监测技术分析

### 1. 传统监测方法

传统的边坡稳定性监测方法主要包括人工巡查、大地测量法和简易监测法。人工巡查是通过专业技术人员定期对边坡进行实地观察，检查边坡表面是否出现裂缝、变形等异常情况，记录植被变化、地下水出露等现象。这种方法具有灵活性和直观性，但受人为因素影响较大，监测频率低，难以发现边坡内部的细微变化，且效率较低。

大地测量法主要运用全站仪、水准仪等测量仪器，对边坡的位移、沉降等参数进行测量。该方法测量精度较高，能够提供较为准确的边坡变形数据，但需要在边坡上布置多个测量控制点，操作复杂，监测成本高，且无法实现实时监测。简易监测法如在边坡裂缝处设置标记，通过

测量标记的位移来判断边坡变形情况，这种方法成本低、操作简单，但测量精度有限，仅适用于初步监测和预警。

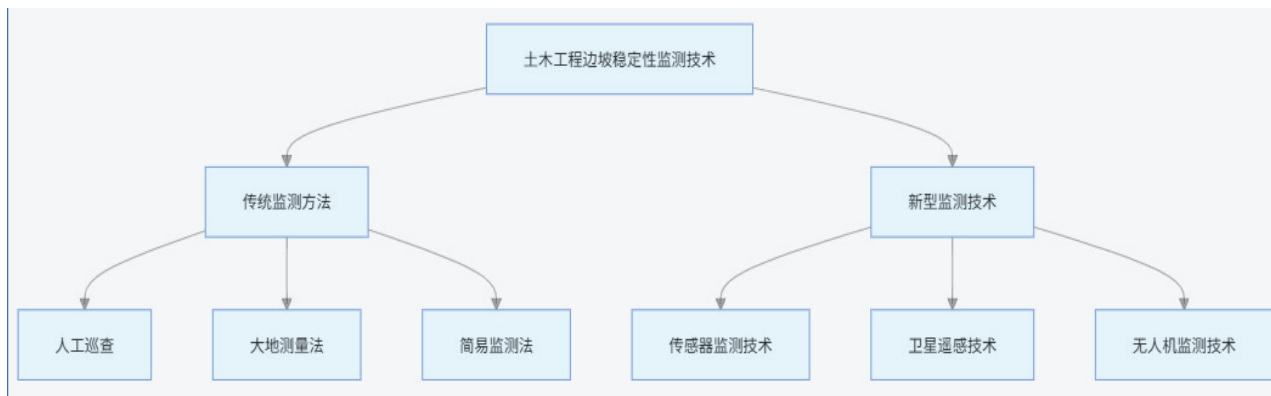
### 2. 新型监测技术

随着科技的不断进步，新型监测技术逐渐应用于边坡稳定性监测领域，主要包括传感器监测技术、卫星遥感技术和无人机监测技术。

传感器监测技术通过在边坡内部和表面布置各类传感器，如位移传感器、应力传感器、渗压计等，实时采集边坡的位移、应力、孔隙水压力等数据。这些传感器具有高精度、高灵敏度的特点，能够实时、连续地监测边坡的物理力学参数变化，并通过无线传输技术将数据传输至监测中心。例如，光纤光栅传感器利用光纤的光学特性，对边坡的微小变形和温度变化进行监测，具有抗电磁干扰、耐腐蚀等优点，适用于复杂恶劣的工程环境。

卫星遥感技术利用卫星搭载的光学和雷达传感器，获取边坡区域的影像数据，通过图像处理和分析技术，提取边坡的地形地貌、植被覆盖、地表变形等信息。InSAR（合成孔径雷达干涉测量）技术能够实现边坡毫米级的地表形变监测，具有监测范围广、不受天气和地形限制等优势，可用于大面积边坡的宏观监测和早期预警。

无人机监测技术则凭借其机动性强、操作灵活的特点，能够快速获取边坡的高分辨率影像和三维模型。通过对不同时期无人机影像的对比分析，可以直观地发现边坡的变形情况。同时，无人机还可以搭载各类传感器，如激光雷达、热成像仪等，实现对边坡的多参数监测，为边坡稳定性分析提供丰富的数据支持。



## 二、土木工程边坡智能预警系统构建

### 1. 系统架构设计

本土木工程边坡智能预警系统的设计，主要涵盖了数据采集层、数据传输层、数据处理层以及预警决策层这四个核心组成部分。在数据采集层方面，通过部署各种类型的传感器，能够实时地对边坡的位移、应力、地下水水位等关键参数进行监测，同时也会收集气象相关的数据，比如降雨量、风速等。数据传输层则利用先进的物联网技术，确保采集到的数据能够通过无线网络（例如4G、5G、LoRa等）或者光纤网络，高效地传输到数据处理中心。数据处理层则运用大数据分析技术，对这些海量的监测数据进行清洗、存储和深入分析，目的是为了提取出数据中的特征和变化规律。最后，预警决策层会基于数据处理层的分析结果，结合边坡稳定性评价模型和预警阈值，对边坡的安全状态进行判断。一旦监测到的数据超过设定的预警阈值，系统将立即启动预警机制，通过短信、邮件、APP推送等多种方式，迅速通知到相关的管理人员和工作人员，确保他们能够及时采取相应的措施。

### 2. 关键技术应用

在边坡智能预警系统中，大数据分析技术和人工智能算法是实现精准预警的核心技术。大数据分析技术能够对长时间跨度内、来源多样的监测数据进行综合处理，通过挖掘这些数据之间的潜在关系，建立边坡稳定性变化的预测模型。例如，通过对历史监测数据和边坡失稳案例的深入分析，可以建立基于时间序列的边坡位移预测模型，从而预测边坡未来的变形趋势。

人工智能算法，如机器学习、深度学习，在边坡稳定性评价和预警中扮演着至关重要的角色。以支持向量机（SVM）算法为例，通过对大量边坡监测数据和稳定性状态的学习训练，可以构建出一个高效的边坡稳定性评价

模型，从而能够准确地判断边坡的稳定状态。深度学习算法，如卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN），能够自动提取数据特征，对边坡的复杂变形过程进行建模和预测，这极大地提高了预警的准确性和及时性。

### 3. 预警阈值确定

预警阈值的合理确定是边坡智能预警系统的核心环节。预警阈值的确定需要综合考虑边坡的地质条件、工程设计要求、历史监测数据和类似工程经验。通常采用理论计算、数值模拟和工程类比相结合的方法。例如，通过极限平衡理论计算边坡的安全系数，结合数值模拟分析边坡在不同工况下的变形情况，确定边坡失稳的临界状态，进而确定位移、应力等参数的预警阈值。同时，根据实际监测数据的变化情况，对预警阈值进行动态调整，以提高预警系统的适应性和准确性。

## 三、工程案例

### 1. 项目概况

在某山区高速公路建设项目中，我们遇到了一系列挑战。该项目涉及多处高陡边坡，这些边坡的高度范围在50至80米之间，地质条件极为复杂。边坡主要由强风化砂岩和页岩构成，这些岩石的节理裂隙发育，使得边坡的稳定性问题变得尤为突出。由于该地区降雨频繁，降雨对边坡稳定性的影响不容忽视。为了确保工程的安全进行以及后期运营的安全，我们决定在该路段的边坡上部署一套边坡稳定性智能监测预警系统。

### 2. 监测系统部署

为了全面监控边坡的稳定性，确保边坡安全，我们在边坡上精心布置了多种监测设备。这些设备包括位移传感器、应力传感器、渗压计和雨量计等，它们共同构成了一个综合监测系统。在位移传感器方面，我们采用了高精度的GNSS接收机和光纤光栅位移计，分别用于监测边坡的地表位移和内部位移情况；通过这些设备，我

们可以精确地掌握边坡表面和内部的移动趋势。应力传感器则负责监测边坡岩土体的应力变化，及时发现潜在的应力集中区域。渗压计实时监测地下水位的变化，这对于评估边坡的稳定性至关重要，因为地下水位的波动可能会对边坡的稳定性产生显著影响。雨量计则负责记录降雨量，因为降雨是影响边坡稳定性的一个重要因素，通过记录降雨量，我们可以评估降雨对边坡稳定性的影响程度。所有这些传感器通过无线传输模块将收集到的数据实时传输至监测中心的服务器，确保数据的及时性和准确性。此外，为了更直观地了解边坡的变形情况，我们还定期利用无人机对边坡进行巡查，通过获取的影像数据辅助分析边坡的变形情况。无人机巡查可以覆盖边坡的各个角落，提供高分辨率的影像，帮助我们更准确地评估边坡的健康状况。

### 3. 智能预警系统运行与效果



自从边坡智能预警系统投入运行以来，它已经能够实时监测边坡的多项关键参数，并对这些数据进行深入的分析。在一次连续的强降雨事件中，该系统敏锐地捕捉到了一个边坡地下水位的急剧上升，以及地表位移速率的显著增加，这些变化都超过了系统预设的安全预警阈值。基于这些监测数据，系统迅速启动了黄色预警机制，并通过短信和移动应用程序向项目管理人员以及相关的技术专家发送了紧急通知。收到预警信息后，技术团队成员立即依据系统提供的详尽数据分析结果，采取

了一系列紧急应对措施，包括但不限于增加排水设施的容量、对边坡进行临时性的加固支护等。这些及时的应急措施有效地防止了边坡失稳事故的发生，确保了边坡的安全稳定。通过长期对该项目边坡的监测和预警，进一步验证了智能预警系统在确保边坡稳定性方面的显著效果和高度可靠性。

### 结论

本文对土木工程边坡稳定性监测与智能预警技术进行了深入研究，分析了传统监测方法和新型监测技术的优缺点，构建了智能化的边坡稳定性预警系统，并通过实际工程案例验证了系统的有效性。研究表明，新型监测技术与智能预警系统的结合，能够实现对边坡稳定性的实时、精准监测和预警，为土木工程边坡安全提供了有力保障。然而，目前的边坡稳定性监测与预警技术仍存在一些不足之处。例如，部分传感器在复杂地质条件下的长期稳定性和可靠性有待提高；智能预警系统的模型和算法在应对极端工况和复杂地质条件时的准确性还需进一步优化。未来，随着传感器技术、物联网、大数据和人工智能等技术的不断发展，应加强多学科交叉融合，研发更加先进、可靠的监测设备和智能预警系统，提高边坡稳定性监测与预警的自动化、智能化水平，为土木工程边坡安全提供更完善的技术支持。

### 参考文献

- [1] 孙鑫铭. 土木工程施工中边坡防护技术探讨[J]. 工程建设与设计, 2025, (08): 189-191.
- [2] 崔锋, 石祥玉, 王宇驰, 等. 软质边坡施工及稳定性实时预警[M]. 化学工业出版社: 2020. 175.
- [3] 张建平, 陈晓黎, 石继红. 土木工程建设中岩土工程问题探讨[J]. 西部探矿工程, 2007, (10): 31-33.