

道桥施工中的智能化监测与预警系统研究

刘 钊

中石化中原油建工程有限公司 河南 濮阳 457001

摘要: 随着科技的飞速发展,智能化技术在道桥施工中的应用日益广泛。智能化监测与预警系统作为提升道桥施工质量和安全性的重要手段,已成为当前研究的热点。本文旨在探讨道桥施工中智能化监测与预警系统的构建原理、关键技术、系统架构及其在未来发展中的趋势与挑战。

关键词: 道桥施工;智能化;监测;预警

引言

道桥工程作为基础设施建设的重要组成部分,其施工质量和安全性直接关系到国家经济发展和人民生命财产安全。传统监测方法存在数据获取不及时、处理效率低下等问题,难以满足现代道桥施工的高标准要求。因此,研发智能化监测与预警系统,实现施工过程的实时监测和预警,对于提高道桥施工质量和安全性具有重要意义。

1 道桥施工智能化监测与预警系统的构建原理

1.1 系统目标

智能化监测与预警系统的核心目标是通过实时监测道桥施工过程中的各项关键参数,如位移、应变、振动、温湿度等,实现对施工状态的全面感知。系统旨在及时发现潜在的安全隐患和质量问题,如结构变形、裂缝扩展、材料老化等,确保施工过程的稳定性和安全性^[1]。一旦发现异常情况,系统将自动发出预警信息,及时通知施工管理人员,为其提供准确的决策支持,以便迅速采取措施进行处理,防止事态进一步发展。

1.2 基本原则

1.2.1 实时性。系统应确保监测数据的实时采集和传输,采用先进的传感器技术和数据传输协议,实现数据的即时获取和传输。通过实时监测,可以及时发现施工过程中的异常变化,为预警和决策提供及时的数据支持。

1.2.2 准确性。系统应采用高精度传感器和先进的数据处理技术,确保监测数据的准确性和可靠性。传感器应具备高精度、高稳定性和良好的环境适应性,能够准确反映施工过程中的实际状态。同时,数据处理算法应经过严格验证和优化,以提高数据的准确性和可信度。

1.2.3 自动化。系统应实现监测、分析、预警全过程的自动化,减少人工干预和误差。通过自动化处理,可以提高工作效率,降低人力成本,并减少人为因素对数据准确性和预警效果的影响。同时,自动化系统还可以实现数据的自动存储、管理和分析,为施工管理人员提

供更加便捷的数据访问和分析工具。

1.2.4 可扩展性。系统设计应预留接口和扩展模块,便于未来功能的扩展和升级。随着道桥施工技术的不断发展和智能化监测技术的不断创新,系统应具备良好的可扩展性,以便根据实际需求进行功能扩展和性能提升。同时,系统还应支持与其他智能化系统的集成和互联,实现更加全面和高效的智能化管理。

2 道桥施工智能化监测与预警系统架构

2.1 数据采集层

数据采集层由分布在道桥施工现场的各类传感器组成,负责实时采集位移、应变、振动等关键参数。通过无线传感器网络,将采集的数据实时传输至数据处理中心。

2.2 数据传输层

数据传输层负责将采集的数据通过现代通信技术传输至数据处理中心。采用云存储技术,实现监测数据的大规模集中存储和管理。

2.3 数据处理层

数据处理层对传输至数据处理中心的原始数据进行预处理、特征提取、健康状态评估等操作。运用机器学习和深度学习算法,构建桥梁结构健康状态评估模型,为预警系统提供数据支持。

2.4 预警与决策层

预警与决策层根据数据处理层的结果,判断桥梁结构的安全状态,及时发出预警信息。同时,为施工管理人员提供决策支持,指导其采取相应的应对措施。

3 道桥施工智能化监测与预警系统的关键技术

3.1 传感器技术

传感器作为智能化监测系统的“眼睛”和“耳朵”,是获取施工现场实时数据的关键部件。它们能够精确测量道桥施工过程中的各种物理量,如位移、应变、振动、温湿度等,为系统的后续分析和预警提供基础数据。在道桥施工中,常用的传感器包括位移传感

器、应变传感器、振动传感器、温度传感器和湿度传感器等。这些传感器各具特色，能够满足不同监测需求：

(1) 位移传感器：用于测量桥梁结构在施工过程中的位移变化，如水平位移和垂直位移。高精度激光位移传感器和光纤位移传感器因其测量精度高、抗干扰能力强而备受青睐。(2) 应变传感器：通过测量结构表面的应变变化，反映结构的受力状态^[2]。电阻应变片、光纤光栅应变传感器等是常用的应变测量工具，它们能够实时监测结构内部的微小变形。(3) 振动传感器：用于监测桥梁结构的振动情况，评估结构的动态响应特性。加速度传感器和速度传感器是常见的振动测量工具，它们能够捕捉结构的振动频率、振幅等关键参数。(4) 温度传感器和湿度传感器：则分别用于监测施工现场的环境温度和湿度，以评估环境因素对施工质量的影响。随着物联网技术的发展，无线传感器网络（WSN）在道桥施工中得到了广泛应用。WSN由大量分布在施工现场的无线传感器节点组成，这些节点通过无线通信方式相互连接，形成一个自组织、多跳的网络系统。WSN具有部署灵活、维护方便、扩展性强等优点，能够实现对施工现场的全面覆盖和实时监测。在WSN中，每个传感器节点都具备数据采集、处理和通信功能。它们能够实时采集施工现场的数据，并通过无线通信方式将数据传输至数据处理中心。

3.2 数据传输技术

数据传输子系统在智能化监测与预警系统中扮演着至关重要的角色，它负责将传感器采集的数据实时、准确地传输至数据处理中心。这一环节的高效运行，是确保系统能够及时发现并预警潜在问题的关键。

3.2.1 现代通信技术。现代通信技术如4G/5G、Wi-Fi、LoRa等，为数据传输提供了高效、可靠的解决方案。这些技术各具特点，适用于不同的施工环境和传输需求：4G/5G通信技术具有高速率、低延迟的特点，适用于传输大量、实时的监测数据。在道桥施工现场，4G/5G基站可以提供稳定的网络覆盖，确保数据的实时传输。Wi-Fi通信技术在施工现场布置Wi-Fi热点，可以实现传感器节点与数据处理中心之间的无线连接。这种技术适用于传输距离较短、数据量适中的场景。LoRa通信技术是一种低功耗广域网通信技术，具有远距离、低功耗的特点。它适用于传感器节点分布广泛、传输距离较远的场景，可以有效降低系统的能耗和成本。

3.2.2 云存储技术。云存储技术的应用，实现了监测数据的大规模集中存储和管理。它将数据存储到远程的服务器上，通过互联网进行访问和管理。云存储可以根据数据的增长需求进行动态扩展，无需担心存储容量不

足的问题。云存储提供商通常提供多重数据备份和恢复机制，确保数据的安全性和可靠性。云存储使得数据的访问和管理变得更加便捷，施工管理人员可以随时随地通过互联网访问和分析数据。

3.3 数据处理与分析技术

在道桥施工智能化监测与预警系统中，数据处理与分析子系统扮演着至关重要的角色。它负责对采集到的原始数据进行一系列复杂的处理操作，以提取有价值的信息，并据此评估桥梁结构的健康状态，实现实时监控和预警功能。这一环节的核心在于利用先进的数据处理技术和人工智能算法，提高数据分析的准确性和智能化水平。数据预处理是数据分析的第一步，其目的在于提高数据质量，为后续分析打下坚实基础。在道桥施工监测中，数据预处理可能包括以下几个步骤：一是数据清洗：去除重复数据、处理缺失值、纠正错误数据等，确保数据的完整性和一致性。二是数据滤波：采用滤波算法去除噪声干扰，提高数据的信噪比。这对于振动、位移等易受环境影响的监测数据尤为重要^[3]。三是数据压缩：在保证数据精度的前提下，对数据进行压缩处理，以减少存储空间和传输带宽的需求。其次特征提取是数据分析的关键步骤之一，它旨在从原始数据中提取出能够反映桥梁结构健康状态的特征参数。这些特征参数可能包括位移、应变、振动频率、振幅等物理量，也可能包括通过复杂算法计算得到的统计量、指标等。特征提取的方法多种多样，包括但不限于时域分析、频域分析、小波变换、主成分分析等。随着人工智能技术的不断发展，机器学习、深度学习等算法在道桥施工监测数据处理与分析中得到了广泛应用。这些技术能够自动从大量数据中学习规律，发现潜在的模式和关联，从而提高数据分析的准确性和智能化水平。

3.4 预警算法

预警算法作为预警系统的核心，直接决定了系统对桥梁结构安全状态的判断准确性和预警的及时性。基于机器学习、人工智能等先进技术，预警算法能够对实时监测数据进行深入分析，预测潜在的安全风险，并及时发出预警信息，为施工管理人员提供重要的决策支持。

3.4.1 机器学习算法。利用已知标签的历史监测数据训练模型，使其能够识别出桥梁结构在不同状态下的特征，进而对新的监测数据进行分类和预测。常见的监督学习算法包括支持向量机（SVM）、决策树、随机森林等。在不依赖标签信息的情况下，自动发现监测数据中的隐藏模式和结构。无监督学习算法如聚类分析、异常检测等，可用于识别桥梁结构中的异常行为或潜在损

伤。此外还可以通过与环境交互来学习最优策略，虽然在桥梁预警系统中直接应用较少，但强化学习思想可用于优化预警系统的决策过程，提高预警效率。

3.4.2 深度学习算法。卷积神经网络（CNN）擅长处理图像数据，可用于桥梁表面裂纹、变形等视觉特征的识别与分析。循环神经网络（RNN）及其变体（如LSTM、GRU）能够处理序列数据，适用于分析桥梁结构的振动、位移等时间序列数据，预测结构动态响应特性。

3.4.3 基于模型的预警算法。根据桥梁结构的物理特性和力学原理，建立数学模型来模拟结构的行为。通过实时监测数据与模型预测结果的对比，判断桥梁结构的安全状态。该方法需要深入理解桥梁结构的力学性能和监测数据的物理意义，模型参数的准确性对预警结果有重要影响。

3.4.4 级联逻辑门控式分块预警方法。一种将桥梁结构划分为多个子区域或构件，并分别设置预警阈值和逻辑门控机制的预警方法。当某个子区域或构件的监测数据超过预警阈值时，触发相应的逻辑门控机制，进一步分析并判断整个桥梁结构的安全状态。

4 未来发展趋势与挑战

4.1 发展趋势

随着科技的飞速发展和施工需求的日益复杂化，道桥施工智能化监测与预警系统正朝着更加先进、智能、高效的方向迈进。以下是该系统未来的几个关键发展趋势：

4.1.1 多模态数据采集。传统的物理量监测（如位移、应力、振动等）将继续作为基础，但系统将进一步引入视频图像、声音等多模态数据。通过多模态数据的综合分析，可以更加全面地了解桥梁结构的实际状态，提高监测的准确性和全面性。例如，视频图像可以用于裂纹检测、施工进度监控等；声音数据可以用于分析结构内部的微小变化。

4.1.2 人工智能技术应用深化。深度学习、强化学习等人工智能技术的深入应用，将使预警系统具备更强的自学习、自适应能力。系统将能够自动从海量数据中提取特征、发现规律，并不断优化预警模型，提高预警的准确性和智能化水平。例如，利用深度学习算法对桥梁表面的裂纹进行自动识别，或利用强化学习算法优化预警策略。

4.1.3 物联网与云计算融合。物联网技术将实现监测数据的实时采集和传输，而云计算技术则提供强大的数据处理和存储能力。两者的深度融合将使监测与预警系

统具备更强的实时性、可扩展性和灵活性^[4]。例如，通过物联网技术采集的监测数据可以实时上传至云端进行处理和分析，预警信息也可以实时推送至相关管理人员。

4.2 挑战

尽管道桥施工智能化监测与预警系统具有广阔的发展前景，但在实际应用中仍面临诸多挑战。以下是该系统需要克服的几个主要难题：

4.2.1 数据采集与传输的实时性。在复杂的施工环境下，如何确保数据采集与传输的实时性和准确性是一个重要挑战。需要采用先进的数据采集技术和传输协议，同时优化网络布局和传输策略，以减少数据传输延迟和丢失。

4.2.2 数据分析与处理的复杂性。随着监测数据的不断增加，如何高效处理海量数据并提取有用信息成为系统需要解决的问题。需要采用先进的大数据处理技术和机器学习算法，以提高数据处理效率和准确性。同时，还需要建立有效的数据管理和存储机制，以便快速访问和分析历史数据。

4.2.3 系统稳定性与可靠性。在恶劣的施工环境下，如何保证系统的稳定性和可靠性是一个关键挑战。需要采用高可靠性的硬件设备和软件架构，同时建立有效的故障检测和恢复机制。此外，还需要对系统进行定期的维护和升级，以确保其长期稳定运行并准确发出预警信息。

结语

智能化监测与预警系统在道桥施工中的应用，对于提高施工质量和安全性具有重要意义。通过构建基于传感器技术、数据传输技术、数据处理与分析技术、预警算法的智能化监测系统，实现对道桥施工过程的实时监测和预警。未来，随着物联网、云计算、人工智能等技术的不断发展，智能化监测与预警系统将在道桥施工中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]赵芳.道路桥梁施工安全监测方法研究[J].山西交通科技,2020,(06):72-74.
- [2]王豹虎.跨高速公路桥施工监测技术的应用研究[J].交通世界,2022,(31):146-148.
- [3]卢永东.新建桥跨既有桥施工监测技术研究[J].交通科技与管理,2024,5(10):49-52.
- [4]乔中美.大跨度连续梁桥施工监测分析[J].交通世界,2022,(15):26-28.