

水利水电施工现场安全监测物联网系统构建探讨

卜晓东

东深智水科技（深圳）股份有限公司 广东 深圳 518057

【摘要】：水利水电工程建设规模庞大且施工环境复杂，安全事故风险高，构建高效安全监测系统极为关键。物联网技术的兴起为其带来新契机。该技术凭借传感器、通信网络及数据处理技术，能实现对施工现场各类参数的实时精准采集、快速可靠传输与深度智能分析。本研究围绕水利水电施工现场安全监测物联网系统构建展开，详细剖析系统架构，涵盖感知层传感器部署、网络层通信方式选择，以及平台层数据管理与分析等内容，阐述系统在安全预警、设备管理等方面的应用，旨在提升水利水电施工安全管理水平，减少事故发生，推动行业智能化发展。

【关键词】：水利水电施工；安全监测；物联网系统；传感器；数据处理

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.047

1 施工安全监测现状

（1）复杂环境下的安全挑战

水利水电工程的施工环境犹如一个复杂多变的迷宫，高空作业区的钢架结构纵横交错，地下作业的隧道深邃幽暗，临水作业的水域暗流涌动，每一处都潜藏着难以预知的风险。高空作业时，强风、低温等恶劣天气随时可能侵袭，工人在数十米甚至上百米的高空进行钢架搭建与设备安装，稍有不慎便可能失足坠落；地下作业中，隧道内的岩石结构复杂，随时面临塌方、渗水的威胁，昏暗的光线和有限的通风条件，也让施工人员的健康和时刻经受考验；临水作业区域，水流的流速与水位变化难以捉摸，洪水、泥石流等自然灾害更是高悬头顶的达摩克利斯之剑。这些复杂的作业场景，使得安全隐患无处不在，对施工安全监测提出了极高要求。

（2）传统监测的局限性

传统的人工巡检方式在水利水电施工安全监测中，就像一位“疲于奔命”的老哨兵。人工巡检依赖巡检人员的肉眼观察和经验判断，主观性极强。不同巡检人员的技能水平和工作态度参差不齐，对同一安全隐患的判断可能大相径庭。而且巡检频率往往受制于人员数量和精力，难以做到实时、高频次检查。在广阔的施工现场，巡检人员有限的脚步无法踏遍每一个角落，许多隐蔽的细微隐患便如同狡猾的“漏网之鱼”，侥幸逃脱监测。更重要的是，人工巡检无法实时将现场情况反馈给管理人员，一旦发生突发状况，往往错过最佳处置时机，导致安全事故的发生。

（3）现有技术的困境

尽管部分水利水电施工引入了简单的自动化监测设备，但这些设备如同一个个“孤岛”，彼此孤立无援。它们各自运行，采集的数据如同散落在沙滩上的珍珠，无法有效串联整合。不同设备的数据格式、传输协议各不相同，难以实现数据的共享与交互。这种数据的碎片化状态，使得施工单位无法从整体上对施工现场的安全状况进行全面、准确的评估。安全管理人员

面对海量却零散的数据，如同面对一团乱麻，难以理清头绪，无法及时发现潜在的系统性安全风险，难以形成科学有效的安全管理策略，亟需先进技术打破这一困境。

2 物联网技术支撑

（1）传感器的感知能力

物联网技术的核心在于感知，而传感器便是感知物理世界的“眼睛”和“耳朵”。在水利水电施工现场，各类传感器如同忠诚的“侦察兵”，时刻监测着周围环境和施工设施的变化。温湿度传感器能够敏锐捕捉施工现场空气的温度与湿度变化，为混凝土浇筑等对环境温湿度敏感的施工环节提供关键数据；位移传感器和倾斜传感器如同“守护者”，紧盯边坡、大坝等结构物，一旦发现细微的位移和倾斜变化，便能及时发出预警；压力传感器则默默监测着承重结构的受力情况，守护着施工结构的安全。

（2）通信技术的桥梁作用

通信技术在物联网系统中扮演着不可或缺的“桥梁”角色，将传感器采集的数据快速、稳定地传输至数据处理中心。4G、5G通信技术以其卓越的高速传输能力和大带宽优势，为施工现场的实时视频监控和大量传感器数据的传输保驾护航。无论是施工现场的全景画面，还是设备运行的各项参数，都能在瞬间传递到远方的监控中心。而NB-IoT通信技术则凭借其广覆盖、低功耗、低成本的特点，适用于分布广泛、数据传输速率较低的环境参数监测场景，如对偏远区域的土壤湿度、大气污染物浓度等数据的传输。

（3）大数据与智能算法的赋能

大数据处理技术如同一位“数据魔法师”，能够对海量的监测数据进行存储、清洗和深度分析。面对施工现场源源不断产生的庞大数据流，分布式存储技术确保数据能够被高效、安全地存储，并且在需要时能够快速调取。数据清洗算法就像一位严谨的“数据清洁工”，去除其中的异常数据和重复数据，让数据更加纯净、准确。而数据挖掘算法则如同“寻宝者”，

深入挖掘数据背后隐藏的关联关系和潜在规律。结合机器学习、人工智能算法，能够对安全隐患进行智能识别与预测。通过分析历史数据中设备运行参数与故障发生之间的关联，提前预测设备可能出现的故障，为安全决策提供强有力的支持，让安全管理从被动应对转变为主动预防。

3 感知层构建要点

(1) 传感器的合理布局

感知层作为物联网系统的基础，传感器的合理布局至关重要，如同在战场上合理部署兵力。在水利水电施工现场的边坡部位，位移传感器和倾斜传感器需要被精准安装在关键位置。这些传感器如同“瞭望哨”，时刻关注着边坡的每一丝变化。当边坡因地质条件变化或雨水冲刷发生微小位移或倾斜时，传感器能够第一时间捕捉到异常信号。在施工设备上，振动传感器和温度传感器如同“贴身医生”，紧贴设备关键部位。设备运行时的振动频率和部件温度稍有异常，传感器便能及时察觉，为设备的健康状况诊断提供依据。临水区域的水位传感器和流速传感器则如同“水文卫士”，驻守在河岸、堤坝边，严密监测水位和流速变化，为防范水患筑起第一道防线。

(2) 传感器性能的考量

在选择传感器时，其精度、可靠性、耐久性及抗干扰能力是必须重点考量的因素。高精度的传感器能够提供更加准确的数据，避免因数据误差导致的安全误判。在监测大坝细微位移时，高精度位移传感器能够精确到毫米甚至更小的单位，确保对大坝安全状况的精准把握。可靠性是传感器稳定工作的基石，施工现场环境恶劣，高温、潮湿、粉尘等因素都会对传感器产生影响，只有具备高可靠性的传感器，才能在这样的环境中长期稳定运行。耐久性则关系到传感器的使用寿命，频繁更换传感器不仅增加成本，还可能影响监测的连续性。

(3) 感知层的协同工作

感知层中的各类传感器并非各自为战，而是需要协同工作，形成一个有机整体。不同类型的传感器采集的数据相互关联、相互补充，共同描绘出施工现场的安全状况全貌。边坡部位的位移传感器和倾斜传感器采集的数据结合降雨量、地质资料等信息，能够更准确地评估边坡的稳定性；施工设备上的振动传感器、温度传感器与设备运行时间、负载等数据相结合，有助于更全面地判断设备的运行状态。通过建立传感器之间的协同机制，实现数据的共享与交互，让感知层能够发挥出更大的效能，为后续的安全分析和决策提供更加全面、准确的数据支持。

4 网络层通信保障

(1) 通信方式的选择策略

在水利水电施工现场，网络层的数据传输需求多样，通信方式的选择至关重要。对于距离远且数据量大的传输任务，4G

和5G通信技术是理想选择。特别是5G技术，其超高传输速度和大带宽特性，能够满足实时视频监控数据的传输需求。施工现场的实时视频监控数据需要快速、稳定地传输到监控中心，以便管理人员及时掌握现场动态。5G技术能够确保高清视频画面流畅无卡顿，让管理人员如同亲临现场，有效提升管理效率和决策的及时性。

与此同时，在施工现场还存在大量分布广泛且数据传输速率较低的环境参数监测数据。这些数据由分布在施工现场各个角落的温湿度传感器、土壤湿度传感器等采集。对于这类数据的传输，NB-IoT通信技术是更合适的选择。NB-IoT技术具有广覆盖、低功耗、低成本的优势，能够在较低的能耗和成本下实现数据的稳定传输。这种技术适用于大量分散的传感器节点，能够有效降低系统的整体能耗和运营成本，同时保证数据传输的稳定性和可靠性，满足施工现场环境监测的需求。通过合理选择通信方式，可以实现不同类型数据的高效传输，保障施工现场监测和管理工作的顺利进行。

(2) 通信网络的互补构建

单一的通信方式往往难以满足水利水电施工现场复杂的数据传输需求，因此需要构建多层次、互补的通信网络。有线通信技术，尤其是光纤通信，在固定区域且对数据传输稳定性要求极高的场景中具有不可替代的作用。在核心控制机房与关键监测设备之间，铺设光纤进行数据传输，能够保证数据传输的高度稳定性和安全性，避免因无线信号干扰导致的数据丢失或传输错误。而无线通信技术则以其灵活性和便捷性，弥补了有线通信的不足，实现了对施工现场各个角落的全面覆盖。

(3) 网络安全的防护措施

在数据传输过程中，网络安全防护至关重要。水利水电施工现场的监测数据涉及工程安全、施工进度等核心信息，一旦遭到窃取或篡改，将带来严重的后果。为保障网络安全，需要采取一系列防护措施。对数据进行加密传输，采用先进的加密算法，将原始数据转化为密文，即使数据在传输过程中被截获，攻击者也无法获取真实信息。建立严格的访问控制机制，对不同用户设置不同的权限，只有经过授权的人员才能访问和操作相关数据。还需要部署网络安全监测设备，实时监测网络流量，及时发现和防范网络攻击行为，为数据传输保驾护航，确保网络层的安全可靠运行。

5 平台层数据管理

(1) 数据存储与管理

平台层作为数据的“大仓库”和“管理中枢”，采用分布式数据库存储技术能够高效应对海量监测数据的存储需求。分布式数据库将数据分散存储在多个节点上，不仅提高了数据存储的容量，还增强了数据存储的可靠性和安全性。即使某个节点出现故障，其他节点仍能正常工作，确保数据不丢失。在数

据管理方面,通过建立完善的数据目录和索引,实现对数据的快速检索和调取。对数据进行分类管理,按照数据的来源、类型和用途等进行分类存储,方便后续的数据查询和分析。定期对数据进行备份和归档,防止数据因意外情况丢失,保障数据的完整性和可用性。

(2) 数据清洗与质量提升

从感知层采集到的数据往往包含大量的异常数据和重复数据,这些“杂质”会影响数据的质量和数据分析结果的准确性。数据清洗算法如同“数据净化器”,能够对原始数据全面的检查和处理。通过设定合理的阈值和规则,识别并去除异常数据,如超出正常范围的传感器读数、明显错误的时间戳等。对于重复数据,采用数据去重算法,保留最准确、最完整的记录,避免数据冗余。还会对数据进行一致性检查,确保不同来源的数据在含义和数值上保持一致。经过清洗后的数据,质量得到显著提升,为后续的数据挖掘和分析奠定了坚实的基础。

(3) 数据分析与决策支持

平台层通过数据挖掘算法深入分析数据间的关联关系,如同在数据的海洋中寻找隐藏的宝藏。分析设备运行参数与环境参数之间的关联,可能发现设备在特定温湿度条件下更容易出现故障,从而为设备维护和管理提供有价值的参考。基于这些数据分析结果,建立科学合理的安全评估模型。该模型能够根据实时监测数据,对施工现场的安全状态进行量化评估,将安全状况划分为不同的等级,直观地展示给安全管理人员。

6 应用层功能实现

(1) 安全预警功能

应用层的安全预警功能如同施工现场的“安全警报器”,时刻守护着施工安全。通过设定合理的阈值,对各类监测数据进行实时监控。当监测数据超出预设阈值时,系统会立即启动预警机制,通过短信、APP推送等多种方式,迅速向管理人员发出警报。警报信息不仅会明确提示安全隐患的位置,还会详细说明隐患的类型和严重程度。当边坡位移传感器监测到的位移量超过安全阈值时,管理人员会第一时间收到预警信息,得

知边坡出现位移隐患,并能根据相关数据评估隐患的严重程度,及时采取加固边坡、疏散人员等措施,将安全事故扼杀在萌芽状态。

(2) 设备管理功能

设备管理功能是保障施工设备正常运行的“智能管家”。通过实时采集施工设备的运行数据,如振动频率、温度、转速等,系统能够全面掌握设备的运行状况。利用机器学习算法对设备运行数据进行分析,预测设备可能出现的故障。通过分析设备振动数据的变化趋势,提前发现设备零部件松动或磨损等潜在故障。根据故障预测结果,系统可以合理安排预防性维护计划,避免设备突发故障导致的施工中断和安全事故。设备管理功能还能对设备的使用效率进行分析,优化设备的调度和使用,提高设备的利用率,降低设备维护成本,保障水利水电工程施工的顺利进行。

(3) 人员管理功能

人员管理功能借助定位技术,如同给施工人员佩戴了“安全护身符”。通过在施工人员佩戴的安全帽或工作设备中嵌入定位装置,管理人员可以实时跟踪施工人员的位置信息。在广阔的施工现场,尤其是在复杂危险的作业区域,这一功能能够有效防止人员误入危险区域。当有人员接近危险区域时,系统会自动发出警报,提醒人员及时撤离,同时通知管理人员进行干预。人员管理功能还可以对施工人员的工作轨迹进行记录和分析,了解人员的工作动态和活动范围,便于合理安排工作任务,提高人员管理的效率和安全性,全方位保障施工人员的生命安全。

7 结语

水利水电施工现场安全监测物联网系统的构建,整合了多种先进技术,实现了施工安全监测的智能化与信息化。通过感知层、网络层、平台层及应用层协同运作,提升了安全监测的实时性、准确性与全面性。未来,随着物联网、大数据、人工智能等技术不断发展,该系统将在设备小型化、智能化,数据深度挖掘,跨平台协同等方面持续优化,为水利水电工程施工安全提供更坚实保障,推动行业向更安全、高效方向迈进。

参考文献:

- [1] 李明.水利工程安全监测物联网技术应用研究[J].水利科技与经济,2023,29(5):67-71.
- [2] 王丽.基于物联网的水电施工安全监测系统设计[J].水电能源科学,2022,40(11):156-159.
- [3] 张峰.大数据在水利水电安全监测中的应用[J].水利信息化,2024,(3):34-38.
- [4] 刘华.5G技术在水利施工现场监测网络中的应用[J].中国水运(下半月),2023,23(8):168-170.
- [5] 陈强.水利水电工程智能安全监测系统构建[J].中国农村水利水电,2024,(7):188-192.
- [6] 赵刚.物联网环境下水利施工安全管理系统优化[J].珠江水运,2025,(2):82-84.