

水利工程白蚁智能监测标准化建设路径

童学卫¹, 孟祥曦², 张娟娟², 胡 铂^{2*}

(1. 水利部河湖保护中心, 100038, 北京; 2. 国家工业信息安全发展研究中心, 100040, 北京)

摘要:土栖白蚁长期危害我国水库、堤防、水闸等水利工程安全, 其活动隐蔽、持续时间长、巢穴系统复杂, 破坏具有累积性, 并易与渗流、汛情等风险耦合, 已成为影响水利工程长期安全运行的重要隐患。随着物联网感知、图像识别、边缘计算和人工智能等技术快速发展应用, 水利工程白蚁防治正由人工巡查和经验处置向智能监测、连续感知和数据驱动预警转变。然而, 当前水利工程白蚁智能监测仍存在系统架构不统一、终端能力边界不清晰、数据接口与通信协议不兼容、平台能力缺乏统一要求、测试验收缺少统一依据等问题。本文在梳理国内外相关标准化现状的基础上, 识别水利工程白蚁智能监测在总体架构、监测终端、数据通信、监测平台和测试评价等方面的关键研究空白, 围绕水利工程场景需求开展系统性标准化研究, 提出将水利工程白蚁智能监测的标准化对象归纳为总体架构层、感知终端层、数据传输层、平台应用层和测试评价层, 从总体架构与术语定义、地上监测终端、地下监测终端、数据通信与接口、平台功能与性能、测试与评价6个重点方向推进, 可为后续相关标准研制、工程建设实施和行业规范建设提供参考。

关键词:水利工程; 土栖白蚁; 智能监测; 标准化研究; 数据通信; 监测平台; 测试评价

Standardization path for intelligent monitoring of termites in water conservancy projects

TONG Xuewei¹, MENG Xiangxi², ZHANG Juanjuan², HU Bo^{2*}

(1. River and Lake Protection Center of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China;

2. China Industrial Control Systems Cyber Emergency Response Team, Beijing 100040, China)

Abstract: Subterranean termites have long threatened the safety of water conservancy projects in China, including reservoirs, embankments, and sluices. Their concealed activities, long duration, complex nest systems, cumulative nature of damage, and susceptibility to coupling with risks such as seepage and flood conditions have made them a major hidden danger affecting the long-term safe operation of water conservancy projects. With the development of Internet of Things sensing, image recognition, edge computing, and artificial intelligence technologies, termite control in water conservancy projects is facing a transition from manual inspection and experience-based treatment to intelligent monitoring, continuous perception, and data-driven early warning. However, current intelligent termite monitoring in water conservancy projects still faces challenges such as inconsistent system architectures, unclear capability boundaries of terminal devices, incompatible data interfaces and communication protocols, the lack of unified requirements for platform capabilities, and the absence of standardized criteria for testing and acceptance. Based on a review of relevant domestic and international standardization practices, this paper identified the key research gaps in overall architecture, monitoring terminals, data communication, monitoring platforms, and testing and evaluation

收稿日期: 2026-05-18

作者简介: 童学卫, 副主任, 正高级工程师, 主要从事工程规划设计、河湖保护技术及标准研究。

通信作者: 胡铂, 高级工程师, 主要从事工业互联网、标准化等领域研究。E-mail: Leohubble@163.com

for intelligent termite monitoring in water conservancy projects. Systematic standardization research was conducted based on the scenario-specific requirements of water conservancy projects. It is proposed that the standardization objects for intelligent termite monitoring in water conservancy projects be categorized into five layers: overall architecture layer, sensing terminal layer, data transmission layer, platform application layer, and testing and evaluation layer. Standardization should be advanced in six key directions: overall architecture and terminology definition, above-ground monitoring terminals, underground monitoring terminals, data communication and interfaces, platform functions and performance, as well as testing and evaluation. This can serve as a reference for the subsequent development of relevant standards, the implementation of engineering construction, and the establishment of industry norms.

Keywords: water conservancy project; subterranean termite; intelligent monitoring; standardization research; data communication; monitoring platform; testing and evaluation

中图分类号: TV698.2⁺36 文献标识码: A 文章编号: 1000-1123(2026)10-0017-09

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2026.10.003

白蚁是长期影响我国水利工程安全运行的重要隐患之一。与一般工程病害相比,土栖白蚁活动隐蔽、持续周期长、巢穴系统复杂,其破坏具有明显的累积性,并易与渗流、汛情等风险叠加,从而对工程长期稳定运行构成系统性威胁。相关研究表明,黑翅土白蚁、黄翅大白蚁等在我国温暖湿润、河网密集和水利工程集中分布地区危害广泛,其主巢、菌圃和蚁道系统可在坝体、堤身及周边土体中持续扩展,一旦形成贯通性通道,就可能诱发管涌、跌窝和渗漏等险情。白蚁危害已不仅是局部工程问题,而是具有广泛性和长期性的行业治理问题。长期以来,水利工程白蚁防治主要依赖人工巡查、人工开挖、经验判断和分散处置。这些方式在过去工程数量较少、管理要求较低的情况下可以发挥作用,但在当前工程存量巨大、隐患识别要求提高、长周期运行管理强化的背景下,传统方法逐渐暴露出效率低、覆盖面窄、判断尺度不统一和难以形成连续监测闭环等局限。与此同时,物联网感知、图像识别、边缘计算、多链路通信和平台化管理等技术持续发展,为白蚁监测由人工经验型向连续感知、远程传输和数据驱动预警等智能型方式转变提供了现实条件,相关应用正在由探索逐渐走向成熟。

总体来看,国内外围绕白蚁监测装置、诱饵系统、通信方式、平台应用和商品化监测系统 etc 已开展一定研究探索,我国在物联网架构、数据传输、平台能力、水利信息化和网络安全等方面具备较好的通用规则基础。但面向水利工程场景的系统级标准化研究仍然不足,特别是在总体架构、监测终端、数据通信、监测平台和测试评价等方面,尚缺少能够支撑大范围推广应

用的统一研究框架。

本文通过梳理国内外相关标准化现状,明确了水利工程白蚁智能监测标准化研究的不足,围绕总体架构、监测终端、数据通信、监测平台和测试评价等核心模块开展系统性标准化研究,并在此基础上提出适用于该领域的标准化框架与重点方向,为后续相关标准研制、工程建设实施和行业规范建设提供参考。

一、国内外相关标准化现状

1. 国外相关标准化现状

从国际实践看,白蚁监测与防治起步较早,相关技术在建筑物、园林绿地、木构件和一般地下设施等场景中已形成较成熟的应用基础。东南亚地区在白蚁监测站设置、自动监测装置应用、定期检查和远程信息传输等方面积累了较多经验。欧美国家则在诱饵系统、低功耗传感器、连续监测、无线预警和商品化防治等方面形成了较完整的产品体系和应用模式,白蚁监测与诱杀领域已具备较高程度的产品化和工程化能力。但从标准化形态看,国外相关实践更多体现为企业技术规范、应用指南和商品化产品应用规则,对白蚁监测提供的主要是产品层和流程层支撑,而非专门面向水利工程场景的系统级研究框架。相较于一般建筑物或园林场景,水库、堤防和水闸等工程长期处于高湿、浸水、弱网、复杂地质和安全敏感环境中,对设备环境适应性、通信稳定性、系统可靠性以及与工程安全管理系统的协同能力要求更高。国外经验虽具有重要借鉴意义,但难以直接转化为适用于我国水利工程白蚁智能监测的系统研究框架。

2. 国内相关标准化现状

我国在水利工程白蚁防治和智能监测领域已具备一定基础,但总体呈现通用规则支撑较多、专门系统研究不足的特征。国内在白蚁危害机理、防治实践与工程管理方面已形成较为扎实的研究基础,围绕蚁害识别、监测装置研发、专用饵料配制、通信传输方案及平台系统应用等方向开展了大量试验与应用探索,部分成果已在工程中试用。针对白蚁防治关键环节,行业内也逐步形成了若干规范化成果,对白蚁防治饵料的原料选型、制备工艺、物理性状、环境稳定性及检验测试方法等均开展了系统性梳理与总结。

在智能监测所需的共性技术与标准支撑方面,国内现有标准体系已具备较好的基础条件。物联网参考体系架构、网络安全等级保护、水资源监测数据传输规约、水文监测数据通信规约、物联网平台基础能力评价规范,以及相关数据接口、密码与信息安全类标准等,可为白蚁智能监测系统的总体设计、数据传输、平台集成和安全运行提供通用技术依据。由此可见,水利工程白蚁智能监测的标准化研究是在现有行业规程与通用标准支撑下开展的场景化深化与集成创新。

但这些通用规则仅提供底层技术支撑,难以直接解决水利工程白蚁智能监测面临的专门技术与管理问题。比如系统整体架构该如何分层,地上与地下监测设备该怎样差异化设置,复杂野外环境下多条数据链路怎样实现兼容与自动切换,平台应具备哪些蚁情识别和预警功能,以及整套系统该采用何种方法统一测试、验收等关键内容,目前仍缺乏针对性、场景化的系统研究。

3. 国内外比较与研究空白

综合比较可以发现,国外在白蚁监测领域的优势主要体现在产品成熟度高、应用模式较清晰、商品化系统较为丰富,其相关规则更多依托企业技术体系和应用指南推进;国内的优势则主要体现在水利行业规程基础较好、物联网与网络安全等通用标准体系相对完

备、与行业管理制度衔接条件较强,具备从通用技术规范向专门研究表达转化的条件(见表1)。

但从专门面向水利工程白蚁智能监测的研究来看,国内外都存在不足,即缺少与该场景高度匹配,覆盖系统总体架构、差异化感知终端、数据通信、监测平台和测试评价全过程的系统级研究框架。国外经验强在产品和应用,弱在水利工程场景适配;国内基础强在通用规则和行业管理,弱在场景化系统研究。

基于上述分析,当前水利工程白蚁智能监测领域的研究不足主要体现在5个方面:一是缺少统一的系统总体架构研究,二是缺少地上、地下监测终端差异化研究,三是缺少适应复杂工况的数据通信研究,四是缺少面向行业管理需求的监测平台研究,五是缺少统一的测试与验收评价研究。针对上述研究空白,亟须围绕总体架构、监测终端、数据通信、监测平台和测试评价等关键模块开展系统性标准化研究。

二、水利工程白蚁智能监测标准化研究的需求分析与目标定位

1. 场景特殊性

水利工程白蚁监测与建筑、园林及木结构设施的监测场景存在本质差异,在监测对象、工况环境和管理需求上均具备显著特殊性。我国水库、堤防、水闸等工程点多面广、运行年限跨度大,长期受到高湿、浸水、水流冲刷、日晒老化与剧烈温差影响,对监测设备的环境适应性与长期可靠性提出了极高要求。土栖白蚁活动高度隐蔽,既可在地表及近地表活动,也能深入坝体、堤身与深层土体,形成主巢、菌圃和贯通性蚁道系统,其危害具有持续累积性和结构性破坏特征,极易与渗流、高水位汛情等风险叠加,进一步放大工程险情,需同时对其地上、地下活动情况进行监测和处置。

与此同时,水利工程监测现场存在布设分散、运维条件差、供电保障不足、通信信号不稳定等现实难

表1 国内外相关标准化支撑及其适用边界

类别	代表性规则/做法	主要支撑内容	对水利工程白蚁监测的适用边界
国外产品体系	诱饵系统、监测站、商品化监测装置	白蚁诱集、监测、防治流程	更适用于建筑物、园林、木构件等场景,难以直接覆盖水利工程复杂工况
国外应用指南	定期检查、更换诱饵、连续监测	流程规范、应用经验	对系统架构、数据通信和平台协同支撑有限
国内水利防治规程	水利工程白蚁防治相关规程与技术要求	防治管理、工程应用原则	偏防治管理,对智能监测系统支撑不足
国内通用物联网标准	架构、安全、传输、平台能力相关标准	共性技术底座	可提供共性规则,但缺乏场景化表达
国内相关探索	饵料、监测装置、通信与平台技术研究	单项技术与局部验证	尚未上升为系统性研究框架

题。部分监测设备需长期埋置于地下或布置在偏远堤段,维护难度大,现场工况恶劣,要求监测系统必须具备超低功耗、可远程运维管理、多链路容错与高稳定运行等能力。由此可见,水利工程白蚁监测并非是依靠单一设备即可解决的技术问题,而是面向复杂工程环境的系统性问题,这种独特的场景属性决定了相关研究必须紧密贴合工程实际,开展针对性、适配化的系统设计。

2. 现实需求

在水利工程白蚁智能监测的特殊场景下,开展系统性标准化研究,具备4个层面的现实必要性。①有利于实现工程建设规范化。如果各地、各项目在系统架构、设备选型、通信配置及平台功能上标准规范各异,将导致建设成果参差不齐、系统性能差异明显,给后期统一运维带来较大困难。②有利于引导产品研发一致化。目前监测终端、数据通信、平台软件等模块来源多样,不同厂家在接口定义、功能范围、运行逻辑等方面标准不统一,将影响系统集成效率与设备间互联互通。③有利于保障测试验收统一化。由于缺乏统一的测试方法与验收指标,各类建设方案难以客观比对,工程验收往往依赖经验判断,评价结果缺乏科学性与可比性。④有利于促进行业推广与协同管理。未来白蚁监测必将从单工程独立运行,向多工程、跨区域、多层级的协同管控方向发展,数据接口、通信协议、平台功能与评价方法的统一程度,将直接决定规模化推广应用的成效。

本文主要针对水利工程白蚁智能监测标准化总体架构、监测终端、数据通信、监测平台和测试评价开展研究。需要说明的是,本文虽然涉及专用饵料、蚁情识别和工程部署等内容,但重点是围绕智能监测系统的标准化表达展开研究,以避免研究对象泛化。

三、水利工程白蚁智能监测标准化研究的基础与方法

1. 研究基础

现有的水利工程白蚁智能监测标准化研究较为系统地阐明了土栖白蚁危害水利工程结构安全的内在机理,也指出了当前各类监测装置在实际应用中的不足、通信传输存在的短板及平台建设面临的现实需求。在技术支撑层面,物联网体系架构、数据传输规约、平台功能要求及网络安全规范等均已形成相对完善的通用标准体系。与此同时,相关技术与模式已在多个典型

水利工程中开展试点应用,为标准化研究提供了重要实践依据。

2. 研究思路

基于上述基础,本文将总体研究思路概括为“需求牵引、问题导向、场景分解、模块研究、验证支撑、框架凝练”。需求牵引是指研究必须从水利工程运行安全、白蚁隐患识别、监测体系建设规范化和行业推广协同化等真实需求出发;问题导向是指研究应聚焦当前制约行业发展的关键短板;场景分解是指研究不能将水利工程白蚁监测抽象理解为一般物联网问题,而应结合白蚁监测所必需的地上与地下、近地表与坝体内部、强覆盖与弱网络、短期运行与长期运维等差异场景,对研究对象进行细化拆解;模块研究是指将复杂系统拆分为总体架构、监测终端、数据通信、监测平台和测试评价等关键模块,分别开展研究;验证支撑是指尽可能吸收既有试验、检测和工程应用经验,使研究成果能够经受实际工况检验;框架凝练是指在完成关键问题分析之后,进一步将分散研究结果上升为具有逻辑关系和对象层次的标准化框架与重点方向。

3. 研究方法

为保证研究的系统性和可操作性,本文综合采用文献与标准调研法、场景分析法、系统分解法、对比分析法和工程归纳验证法。文献与标准调研法主要用于梳理国内外白蚁监测、基础设施智能监测及相关共性标准的发展现状,明确该领域已有支撑与不足;场景分析法主要用于识别水利工程白蚁监测的特殊约束,包括埋地环境、潮湿积水、弱网运行、长周期供电和多工程协同管理等;系统分解法用于将复杂对象拆分为总体架构、终端、通信、平台和测试评价等模块;对比分析法用于比较国外产品化和流程化经验、国内通用规则基础以及水利工程场景专门需求之间的差异;工程归纳验证法则用于吸收已有试验、检测和示范应用中的经验,增强研究结论的现实针对性。

四、水利工程白蚁智能监测标准化研究的关键问题分析

1. 总体架构

总体架构标准化的关键在于统一系统的边界划分、层级结构与协同工作逻辑。水利工程白蚁智能监测涵盖感知终端、数据传输、平台解析、业务处置等多个环节,是典型的多层级协同复合系统。若缺乏统一

的总体架构约束,不同建设单位在系统构成、层级划分、功能定位与接口交互上易出现理解不一、实现各异的情况,最终导致终端难以统一接入、数据难以贯通、平台难以兼容、系统难以升级扩展等问题。只有先把总体架构这一顶层设计理顺、定准、标准化,后续在终端设备、数据通信、平台功能、测试评价等方面的研究,才能建立在统一、稳定的技术基础之上。

结合水利工程白蚁监测的实际场景特点,将系统划分为感知终端、边缘支撑、平台应用3个部分。其中,终端侧负责现场信号采集与状态感知;边缘侧负责通信中继与协议转换;平台侧负责数据汇聚、智能分析、预警发布与业务管理。这种分层设计并非简单套用通用架构,而是根据堤坝现场布设条件、通信覆盖状况及工程管理实际需求综合确定。

2. 监测终端

从水利工程场景出发,结合白蚁活动特点,将监测对象分为地上和地下两部分。地上监测对象主要面向坝肩、坝脚、堤顶及近地表区域,其外部环境具有暴露性,通常受到日晒、雨淋、紫外线老化、机械冲击和人为干扰等因素影响。地下监测对象则主要面向埋地、坝体和堤身内部环境,其运行条件更具隐蔽性和复杂性。

地上、地下终端研究难点主要在于复杂、恶劣的环境下如何保障监测系统长期安全、稳定工作。地上终端相关研究主要侧重外壳防护、结构适应性、持续感知、供电保障和维护便利性等方面;地下终端相关研究则需要重点考虑潮湿、受压、腐蚀、低维护和弱通信条件下的长期稳定运行问题,包括防水、耐压、防腐、低功耗和隐蔽环境感知等内容。

地上与地下监测对象差异明显,两者对应的是两类技术特征明显不同的研究对象,前者主要面对暴露环境中的感知与维护问题,后者则集中于埋地条件下的防护、耐压、低功耗和隐蔽感知问题。这些差异决定了标准化研究中两者应分别展开,研究各自的技术边界和适用条件。

3. 数据通信

数据通信是白蚁智能监测落地的关键,研究重点在于解决复杂工况下的数据稳定传输、协议兼容与安全可靠问题。

当前工程应用中,数据通信研究难点主要集中在以下方面:一是地下埋设及偏远堤段信号衰减严重,链路稳定性差,断网掉线概率高;二是多厂家设备、多通

信协议并存,数据格式与接口难以互通,集成难度大;三是白蚁监测数据直接关系工程安全,业务敏感性高,对传输加密、防篡改、防伪造的要求更为严格。只有把上述问题系统性解决,终端采集的蚁情信息才能有效上传至平台并形成后续研判与处置策略。

因此,数据通信环节的核心不在于能否把数据发出,而在于能否在恶劣工况下保持连续、稳定、可兼容、可追溯的安全传输,相关标准化研究也应集中于此。

从标准化的角度来看,终端、边缘与云端之间的数据传输链路可作为独立模块进行规范。多链路接入、多协议兼容、异构接口转换、主备链路自动切换及数据安全传输等,均是开展标准化、规范化的核心内容。数据通信的标准化研究,需聚焦在复杂工况下的数据组织方式、多链路协同策略以及安全可靠传输机制构建,这也是制定相关技术规范与实施细则的重要依据。

4. 监测平台

监测平台建设的关键在于清晰界定数据处理、预警研判与设备管控的功能边界。从系统整体运行来看,平台的核心能力主要集中在数据汇聚、分析预警、设备统一管理与信息共享交换等方面。

研究难点主要在于蚁情监测原始数据不能直接转化为管理决策信息,必须经过智能识别、综合研判与结构化整合才能成为支撑白蚁防治与工程安全管理的有效依据。同时,平台还需实时掌握设备在线率、通信状态、异常告警、历史趋势等关键运行信息,不仅要完成数据的接收与存储,更要实现蚁情事件自动判别、状态实时识别、风险等级判定、预警及时触发及设备全生命周期管理。

如果平台架构缺乏标准化、规范化,功能边界模糊,业务逻辑不清晰,不仅会影响系统长期稳定运行,更无法满足后续多工程统一接入、跨区域协同监管的发展需求。平台建设不是简单的界面展示,而是数据处理逻辑与工程业务管理逻辑深度融合的系统性内容。因此,平台相关标准化研究应围绕业务中枢和管理中枢的功能定位展开,并进一步明确相应能力要求。

5. 测试评价

测试评价主要是对上述功能效果加以验证。若缺失测试评价环节,研究成果难以形成统一的工程化表达,也难以支撑不同方案之间的客观比较。测试评价研究需要将前述关键问题转化为可验证、可比较和可验收的统一依据。如果没有测试对象、测试条件、测试

方法和判定依据的同步研究,关于架构、终端、通信和平台的研究内容就难以进入工程采购、建设实施和验收评价环节。

从标准化研究的需要来看,总体架构一致性,地上地下监测系统、数据通信、监测平台及系统可靠性、兼容性与可维护性等,均宜纳入统一测试对象范围。同时,因为水利工程环境复杂恶劣(如长期水压浸泡、干湿循环、土壤腐蚀、宽温范围等),需要开展加速老化试验与可靠性测试,以及蚁情识别算法的准确性、误报率、漏报率测试基准与数据集构建,还需要将测试条件、样品要求、型式试验、出厂检验、验收检验和运行维护中的周期性测试均纳入标准化研究范围。

五、水利工程白蚁智能监测标准化框架与重点方向

1. 标准化框架构建原则

为解决上述关键问题,需要构建覆盖关键链条、层次清晰、能够落地实施并具备验证基础的标准化框架。标准化框架立足水利工程场景需求,对标准化对象、层级关系和重点方向做出系统化设计。

标准化框架构建遵循系统性、层次性、协同性、可实施性和可验证性原则。系统性强调对关键链条的完整覆盖;层次性强调从上位对象到场景对象、从共性要求到专用要求的分层表达;协同性强调不同对象之间的逻辑衔接和接口关系;可实施性强调研究内容能够服务规划设计、建设部署、运行维护和工程管理;可验证性强调各项内容能够进一步转化为测试、比较和验收依据。

2. 标准化对象的层次划分

围绕系统边界、监测场景、支撑能力和验证机制等核心内容,可将水利工程白蚁智能监测的标准化对象归纳为5个层次,分别是总体架构层、感知终端层、数据传输层、平台应用层和测试评价层(见图1)。

总体架构层侧重于明确系统范围、术语内涵、层级关系与通用技术要求,是整个标准体系的顶层依

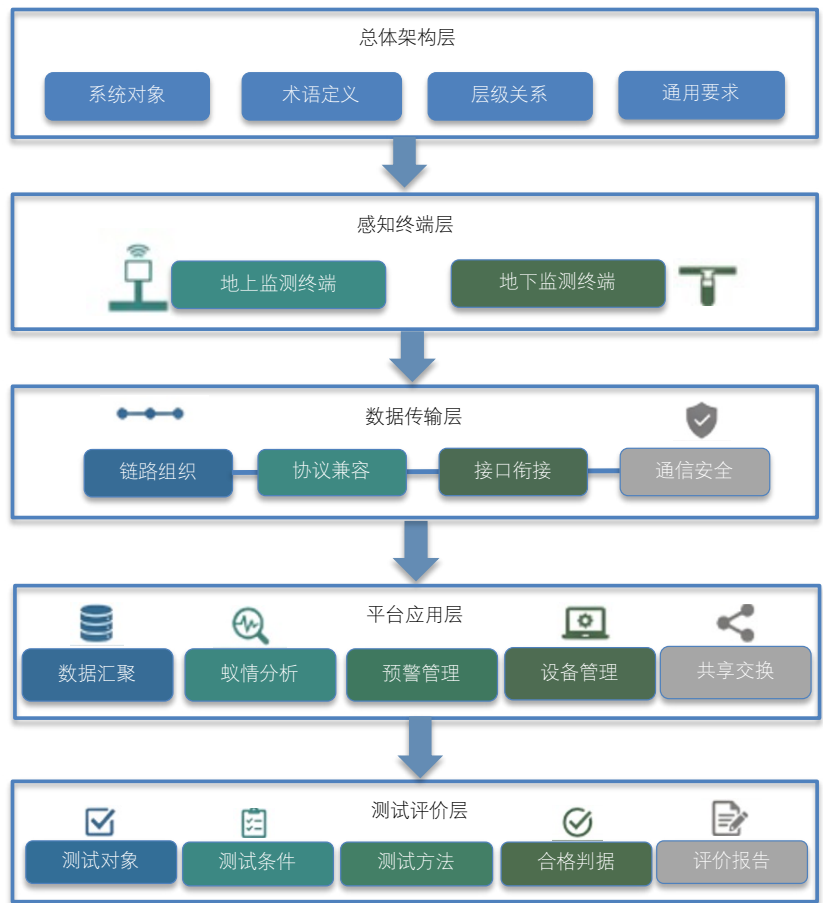


图1 水利工程白蚁智能监测标准化框架

据。感知终端层包含地上监测终端与地下监测终端两类设备,是直接对应工程现场、贴合实际场景的核心硬件单元。数据传输层重点解决终端、边缘与平台之间的数据组织、接口对接和通信安全等关键问题。平台应用层主要涵盖数据汇聚、蚁情智能分析、预警处置、设备运行管理及数据共享交换等业务功能。测试评价层则是对前4层内容的统一验证环节,包括测试项目、试验条件、检测方法、判定指标与评价成果输出等内容。

这种层次划分方式能够较为全面地覆盖水利工程白蚁智能监测的关键技术与关键环节,也为后续开展分项标准研究和技术规则制定提供了清晰、稳定的结构基础。

3. 重点标准化方向

在上述对象划分基础上,进一步提出该领域需要重点推进的若干方向,主要包括以下6个方面(见表2)。

一是总体架构与术语定义方向,重点在于统一系统对象、关键术语、层级划分、功能关系和通用要求。

表2 水利工程白蚁智能监测重点标准化方向及主要研究内容

重点方向	主要研究对象	核心问题	预期作用
总体架构与术语定义	系统对象、层级结构、通用要求等	系统边界如何统一	建立共同语言和总体逻辑
地上监测终端	近地表装置	感知、防护、供电、通信如何规范	明确地上场景终端能力边界
地下监测终端	埋地装置	耐压、防腐、防水、低功耗如何规范	明确地下场景终端能力边界
数据通信与接口	终端、边侧、平台之间的数据传输	如何兼容、多链路切换、安全传输	提升互联互通能力
平台功能与性能	数据汇聚、分析预警、设备管理、共享交换	平台应具备哪些业务能力	支撑工程管理与协同应用
测试与评价	测试对象、流程、判据、报告	如何统一验证和验收	提供客观评价与验收依据

二是地上监测终端方向,重点在于形成适用于近地表监测场景的终端能力边界。三是地下监测终端方向,重点在于形成适用于埋地和坝体内部环境的终端能力边界。四是数据通信与接口方向,重点在于统一多链路接入、协议兼容、接口转换和安全传输要求。五是平台功能与性能方向,重点在于明确数据汇聚、分析预警、设备管理和共享交换等能力要求。六是测试与评价方向,重点在于建立统一的测试对象、测试流程、合格判据和评价报告要求。

上述6个方向构成了由总体到分项、由对象到验证的完整研究链条,也是后续相关工作持续推进的重点内容。

4. 标准化框架的逻辑关系

从标准对象层级与功能协同关系来看,本文构建的标准化框架,整体逻辑可概括为:总纲引领—对象分解—连接协同—能力集成—验证闭环。

总纲引领对应总体架构与术语定义,用于统一系统边界、专业释义与技术语言;对象分解对应地上与地下监测终端,将复杂工程场景的监测需求转化为具体、可落地的设备指标;连接协同对应数据通信与接口规范,保障各类设备、各级系统间数据顺畅传输与安全交互;能力集成对应平台功能与性能要求,将原始监测数据转化为可研判、可预警、可管理的业务能力;验证闭环对应测试与评价体系,使前面各层级的技术要求真正进入可检验、可比对、可验收的实施环节。

上述逻辑关系充分说明,水利工程白蚁智能监测标准化框架应紧扣系统构成、场景特点与应用目标,层层递进、有机衔接。

5. 对后续标准化工作的启示

后续工作的推进,应建立在统一框架下的分层展开和持续验证基础上。基于上述框架与重点方向,后续相关标准化工作宜坚持由框架到对象、由共性到专用的

推进方式。应先明确总体架构和术语边界,再逐步细化到终端、通信、平台和测试评价等对象。同时,应坚持场景牵引,围绕水利工程白蚁监测中的真实需求提炼具有普适性的规则表达,并通过工程验证不断优化研究内容。只有在这样的框架下,相关研究成果才可能进一步转化为可推广、可衔接和可实施的标准化成果。

六、标准化研究的主要特点与实践意义

1. 标准化研究的主要特点

本文研究的主要特点体现在以下4个方面。

①研究对象由单项技术问题拓展为系统性标准化问题。相较于围绕监测装置、饵料、通信链路或平台功能的单项研究,本文将水利工程白蚁监测视为由总体架构、监测终端、数据通信、监测平台和测试评价共同构成的复合系统,重点关注对象边界、层级关系、模块衔接和验证机制等基础问题。

②研究将通用技术规则与水利工程场景需求加以衔接。我国在物联网架构、数据通信、网络安全和平台能力等方面已有较好的通用规则基础,但这些规则主要面向共性问题,并不完全适用于水利工程白蚁监测所面临的复杂恶劣工程环境对终端防护、通信稳定可靠性等方面特殊要求。本文围绕水利工程高湿、浸水、弱网、埋地、分散布设和安全敏感等场景特征,对相关规则的适用边界进行了分析,并据此提出场景化研究重点。

③研究遵循了较为完整的问题分析路径。全文按照现状梳理—空白识别—需求分析—关键问题分析—框架凝练的逻辑展开,重点围绕问题提出标准化研究思路和组织框架,作为后续标准化工作基础。

④研究将测试评价纳入整体分析范围。本文未将测试和验收视为工程实施之后的附属问题,而是将其作为标准化研究的重要组成部分,以增强相关研究的

可实施性和可验证性。

2. 标准化研究的实践意义

从实际应用来看,本文研究成果可在工程建设、产品研制、检测验收及行业推广4个方面发挥重要作用。

①规范工程建设实施,为各类项目的规划设计、系统建设与现场实施提供统一的技术依据和清晰的逻辑边界,增强建设规范性。

②统一产品研制与系统集成,使不同厂家设备、不同系统平台之间具备兼容互通基础,提升整体集成效率与稳定性。

③增强检测验收的客观性与可比性,让工程招标、竣工验收与运行管理评价建立在统一、可比的技术尺度之上,更加科学公正。

④促进白蚁监测从试点示范走向规模化落地,为跨区域、跨工程、跨单位协同应用提供统一规则与方法支撑,便于大面积推广应用。

七、结论与建议

本文在梳理国内外相关标准化现状的基础上,围绕水利工程白蚁智能监测开展了系统性标准化研究,结论如下。

①国内外虽已在白蚁监测和基础设施智能监测领域形成一定技术积累和规则基础,但面向水利工程场景的系统级标准化研究仍存在明显不足。国外在产品体系、应用指南和工程实践方面积累较多,国内则在水利行业规程、物联网架构、数据传输和网络安全等方面具备较好的通用规则基础,但这些内容尚不足以直接支撑与我国水利工程场景高度匹配的系统化研究框架。

②水利工程白蚁监测具有鲜明的场景特殊性,决定了相关研究必须立足工程环境和管理需求展开。水利工程数量多、分布广、运行周期长,白蚁危害隐蔽、具有累积性,且与渗流、汛情风险耦合明显,监测系统又长期处于高湿、浸水、弱网、埋地和分散布设环境中。这些特征决定了现有国外产品规范或国内通用技术规则难以直接替代专门研究。

③围绕总体架构、监测终端、数据通信、监测平台和测试评价等核心模块开展研究,是构建水利工程白蚁智能监测标准化研究框架的合理路径。这5类对象既覆盖了系统建设和应用的关键链条,又具有清晰的逻辑层次,能够应对系统对象界定、场景差异化终端能力、复杂工况通信兼容、数据驱动管理能力和统一验证机制等关键问题。

④围绕上述关键问题提出的标准化框架与重点方向,可为后续相关标准研制、规范制定和行业推广提供系统参考。本文提出的对象层次划分和重点方向,体现了由总体到分项、由对象到验证的基本逻辑,能够为水利工程白蚁智能监测相关研究的进一步展开提供方法支撑。

本文研究主要聚焦于标准化框架和重点方向层面,对复杂工况下长期运行数据管理、误报漏报控制、性能分级评价和运维组织机制等技术问题尚未展开更细化的量化分析。

基于上述认识,后续研究与标准化工作宜从以下几个方面持续推进。一是深化复杂工况下的实证验证研究,积累长期运行数据,为相关工作提供更充分的实证支撑。二是加快建立运行维护与评价类研究框架,使相关工作由建设导向进一步拓展为建设、运维与评价一体化导向。三是强化数据协同与跨平台兼容研究,提升多工程、多区域和多层级场景下的系统协同能力。四是建立动态迭代机制,在试点反馈、应用评估和问题归集基础上持续优化研究对象和研究重点。五是推动研究成果与工程管理制度协同衔接,使研究结论能够进入项目招标采购、建设验收、第三方检测、运维评价和行业监管等实际工作流程。

总体来看,开展水利工程白蚁智能监测标准化研究,既是防范工程安全风险的现实需要,也是推动水利工程监测由经验式管理走向现代化治理的重要路径。本文从标准化研究角度提出的框架与重点方向,可为后续相关工作提供参考。随着试点实践不断深化、技术水平持续提升、管理需求逐步升级,该领域仍有较大的拓展与完善空间。

参考文献:

- [1] 高长胜,刘成栋,孟颖,等.水利工程白蚁防治研究进展[J].水利水运工程学报,2024(3):1-13.
- [2] 牙茜葭,谢松斌,劳钰.广西水利工程白蚁等害堤动物防治现状与对策[J].水利水电快报,2025,46(1):111-115+120.
- [3] 陆俊,李军,臧德记,等.综合物探法探测堤坝白蚁隐患的关键技术研究[J].水利水运工程学报,2015(4):16-21.
- [4] 曾文慧,吴文静,李志强.二十一世纪以来中国白蚁研究进展[J].应用昆虫学报,2025,62(5):1272-1298.
- [5] 王一非,卢伟平,袁涛,等.基于ACP-YOLOv5s的土栖白蚁活动迹象识别[J].农业工程学报,2025,41(1):221-229.

- [6] 史常乐, 李明生, 陈晓, 等. 数字孪生驱动的智慧凌塘水库平台设计与开发[J]. 水资源研究, 2026, 15(1): 75-83.
- [7] 彭俊玉, 陈健, 马莉, 等. 基于浏览器与服务器架构的外来有害生物智能鉴定与管理系统的构建[J]. 植物检疫, 2025, 39(4): 31-38.
- [8] SALIM H, ALYMANN A A, ONG S Q, et al. A Study on area-wide management of subterranean termites through baiting strategies in a tropical region[J]. Scientific Reports, 2026, 16(1): 1-12.
- [9] CHOUVENC T. How do termite baits work? implication of subterranean termite colony demography on the successful implementation of baits.[J]. Journal of economic entomology, 2024, 118(3): 997-1007.
- [10] LI X, Zhang X, Dong S, et al. Termite Detection Techniques in Embankment Maintenance: Methods and Trends[J]. Sensors, 2025, 25(14): 4404.
- [11] SU Y N. An overview of the development of termite baits in the past 3 decades[J]. Journal of economic entomology, 2024, 118(3): 1008-1013.
- [12] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 白蚁防治工程基本术语标准: GB/T 50768—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [13] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 物联网参考体系结构: GB/T 33474—2025[S]. 北京: 中国标准出版社, 2025.
- [14] 水利部. 水资源监测数据传输规约: SL/T 427—2021[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021.
- [15] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求: GB/T 28181—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [16] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求: GB/T 22239—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [17] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 信息安全技术 信息系统密码应用基本要求: GB/T 39786—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [18] STANDARDS AUSTRALIA. 2014 Protection of buildings from subterranean termites: AS 3660.1[S]. Sydney: Standards Australia, 2014.
- [19] ENTERPRISE SINGAPORE. 2025 Termite control and management in buildings and structures: SS 721[S]. Singapore: Enterprise Singapore, 2025.
- [20] MORA D, HERNÁNDEZ-TEIXIDOR D. Large-scale elimination of subterranean termite colonies of the genus *Reticulitermes* (Blattodea: Heterotermitidae) from town centers in Spain[J]. Journal of Economic Entomology, 2025, 118(3): 982-996.

责任编辑 刘磊宁