

基于边缘计算的保温材料热工性能在线诊断

邹 精

四川齐明建设工程检测咨询有限公司, 四川 遂宁 629100

[摘要]建筑与工业设备保温材料长期服役过程中, 易受环境侵蚀、结构老化、施工缺陷影响出现热工性能衰减, 传统离线抽检、云端集中诊断模式存在滞后性、实时性差、现场适配度低等问题, 难以满足常态化、精细化运维需求。本文依托边缘计算技术架构, 结合保温材料传热特性与现场运行工况, 构建本地化、低延迟的热工性能在线诊断体系, 重点阐述边缘计算赋能保温材料性能诊断的核心优势、系统架构搭建、关键诊断逻辑及工程落地应用路径, 解决传统检测方式依赖人工、数据传输冗余、故障响应滞后等行业痛点, 实现保温材料热工缺陷实时识别、性能状态动态研判、隐患问题即时预警, 为建筑节能、工业设备保温运维提供智能化落地方案。

[关键词]边缘计算; 保温材料; 热工性能; 在线诊断; 节能运维

DOI: 10.64635/ja.2026.1355

中图分类号: TU55+1

文献标识码: A

Online Diagnosis of Thermal Performance of Insulation Materials Based on Edge Computing

Zou Jing

Sichuan Qiming Construction Engineering Testing Consulting Co., Ltd., Suining, Sichuan 629100, China

Abstract: During long-term service in buildings and industrial equipment, insulation materials are prone to thermal performance degradation due to environmental erosion, structural aging, and construction defects. Traditional offline sampling inspection and cloud-based centralized diagnosis models suffer from delays, poor real-time performance, and low on-site adaptability, making it difficult to meet the needs of normalized and refined operation and maintenance. Based on an edge computing technology architecture, this paper combines the heat transfer characteristics of insulation materials with on-site operating conditions to construct a localized, low-latency online diagnosis system for thermal performance. It focuses on the core advantages of edge computing in empowering insulation material performance diagnosis, system architecture construction, key diagnostic logic, and engineering application paths. The proposed system addresses industry pain points such as reliance on manual inspection, redundant data transmission, and delayed fault response in traditional detection methods. It realizes real-time identification of thermal defects in insulation materials, dynamic assessment of performance status, and immediate early warning of hidden risks, providing an intelligent implementation solution for building energy conservation and insulation operation and maintenance of industrial equipment.

Keywords: edge computing; insulation materials; thermal performance; online diagnosis; energy-saving operation and maintenance

引言

保温材料是建筑围护结构、工业管道、热力设备节能保温的核心基材, 其导热系数、热阻、保温稳定性等热工性能直接决定系统能耗水平与运行安全性。在长期实际工况中, 保温材料会因受潮积水、机械挤压、老化粉化、缝隙漏风等问题出现性能劣化, 产生热桥、散热超标、结露腐蚀等隐患, 大幅提升能源损耗与设备故障风险。当前行业主流检测方式仍以离线人工检测、周期性抽样检测为主,

辅以云端大数据分析, 这类模式普遍存在检测间隔长、无法捕捉瞬时性能变化、海量现场数据传输延迟高、无效数据冗余量大等问题, 且云端诊断依赖网络, 断网、弱网环境下完全无法工作, 难以适配复杂施工现场与工业运维场景。

边缘计算作为贴近设备终端、本地化数据处理的新型计算架构, 可在数据采集现场完成运算、分析、诊断全流程工作, 无需全部上传云端, 具备低延迟、高适配、断网

可用、算力轻量化的核心优势，完美契合保温材料现场实时诊断的需求。基于此，本文结合工程实际，搭建基于边缘计算的保温材料热工性能在线诊断体系，从技术适配性、系统架构、诊断逻辑、应用价值等方面展开深入分析，规避传统技术短板，实现保温材料热工性能的常态化、智能化、精准化在线诊断。

1 传统保温材料热工性能检测的现存短板

1.1 检测方式滞后，无法实现动态监测

传统保温材料热工性能检测以阶段性离线检测为核心，运维人员定期到现场采用专业仪器抽检，仅能记录检测瞬间的材料性能数据，无法捕捉材料长期服役过程中的动态衰减过程。保温材料的性能劣化是渐进式、无规律的，受潮、老化等问题往往突发且持续演变，两次检测间隔期内产生的轻微热工缺陷无法被及时发现，小隐患逐步累积为大面积保温失效，最终造成能耗大幅增加。同时，人工检测依赖操作人员经验，主观误差较大，检测结果重复性差，难以精准反映材料真实运行状态。

1.2 云端诊断模式适配性差，现场落地受限

现有智能化诊断方案多采用“终端采集+云端分析”架构，现场传感器采集的海量温度、湿度、热流数据需全部上传至云端服务器进行运算分析。这种模式对网络依赖性极强，建筑施工现场、户外工业管道、偏远热力站点等场景常存在网络信号弱、带宽不足的问题，极易出现数据传输卡顿、丢失、延迟等情况，导致诊断结果滞后、准确率下降。同时，海量原始数据不间断上传，会产生大量无效冗余数据，占用网络资源与云端算力，大幅提升运维成本，无法满足现场即时诊断、即时预警的刚需。

1.3 缺陷诊断单一，缺乏精细化研判能力

传统检测与云端诊断仅能判断保温材料整体保温性能是否达标，无法精准定位缺陷位置、区分缺陷类型，难以区分是材料老化、受潮积水、施工缝隙还是外部挤压导致的热工失效。在实际运维中，不同缺陷的整改方式、维护成本、隐患风险差异极大，笼统的性能判定结果无法为现场整改提供精准依据，运维人员只能盲目排查、整体更换保温材料，造成人力、物料资源的浪费，运维效率极低。

2 边缘计算应用于保温材料热工性能在线诊断的核心优势

2.1 本地化算力支撑，实现超低延迟实时诊断

边缘计算核心特点是将数据运算、分析、诊断算力下沉至现场终端边缘节点，无需依赖云端服务器中转处理。保温材料热工数据采集后，可直接在边缘设备中完成清洗、

筛选、分析与性能研判，全程无需远距离网络传输，响应速度大幅提升。能够实时捕捉材料瞬时热工参数变化，精准识别突发性、瞬时性热工缺陷，彻底解决传统云端诊断延迟高、滞后性强的问题，实现隐患问题秒级发现、即时预警，适配全天候动态监测需求。

2.2 轻量化数据处理，降低运维资源消耗

边缘节点具备本地数据筛选与过滤能力，可自动剔除环境干扰产生的无效数据、重复数据与异常噪声数据，仅将有效诊断结果、核心异常数据上传云端存档，无需传输全部原始采集数据。这种轻量化数据处理模式，极大减少了网络带宽占用，弱化了系统对网络环境的依赖，弱网、断网场景下仍可正常完成本地诊断工作。同时有效降低云端算力负荷与数据存储压力，减少智能化设备运维成本，更适配各类复杂现场工况。

2.3 场景化适配性强，实现精细化缺陷诊断

可针对不同类型保温材料、不同应用场景，在边缘节点植入定制化热工诊断算法模型，适配岩棉、聚苯板、聚氨酯、复合保温板材等各类材料的传热特性，同时贴合建筑墙体、屋面、工业管道、热力设备等不同服役工况的环境特点。相较于传统统一化诊断模式，边缘计算可实现分场景、分材料的精准性能研判，不仅能判定整体保温性能优劣，还可精准定位缺陷点位、区分缺陷成因，为现场精准运维提供数据支撑。

2.4 独立运行稳定性高，适配复杂现场环境

建筑施工现场、户外工业保温系统普遍存在环境复杂、网络不稳定、电磁干扰多等问题，传统云端架构极易出现系统瘫痪、数据异常等问题。边缘计算系统采用本地化独立运行架构，核心诊断功能不依赖外网，仅数据归档、远程溯源功能需要网络支持，抗干扰能力、环境适配性更强，可长期稳定运行在复杂工况现场，保障热工性能在线诊断的连续性与稳定性。

3 基于边缘计算的热工性能在线诊断系统整体架构

结合保温材料现场监测需求与边缘计算技术特性，整套在线诊断系统采用“感知采集层、边缘计算层、云端管理层”三级轻量化架构，层级分工明确、功能贴合现场需求，摒弃冗余设计，兼顾实用性与稳定性，完全适配工程落地场景。

3.1 感知采集层

感知采集层是系统数据基础，主要由部署在保温材料表面、内部及周边环境的轻量化传感器组成，包含温度传感器、热流传感器、湿度传感器等，采用分布式布点方式，

贴合保温结构实际布局,无施工破坏、安装便捷。传感器全天候实时采集保温材料热流密度、内外表面温度、环境温度湿度等核心参数,采集频率适配材料性能变化规律,既避免数据遗漏,又杜绝高频采集产生的数据冗余,为边缘端精准诊断提供真实、全面的现场数据支撑。

3.2 边缘计算层

边缘计算层是整套系统的核心核心,部署于现场边缘网关设备,承担数据处理与性能诊断的全部核心工作。该层级搭载轻量化热工诊断算法,可完成多源数据的本地清洗、时序对齐、异常过滤,规避环境温度波动、设备轻微干扰带来的数据误差。同时依托内置的保温材料热工性能基准模型,实时计算材料实时热阻、等效导热系数等核心指标,动态对比设计标准与正常服役参数,精准识别性能衰减、局部热桥、受潮失效、缝隙漏热等各类缺陷,并完成缺陷定位与成因初步研判,即时输出预警信号,实现现场闭环诊断。

3.3 云端管理层

云端管理层仅承担辅助管理功能,不参与实时诊断工作,有效规避云端算力依赖问题。主要负责接收边缘节点上传的核心诊断结果、异常数据、设备运行状态信息,完成数据归档、长期趋势分析、远程设备管理等工作。运维人员可通过云端平台远程查看各监测点位保温材料的长期性能变化曲线、缺陷记录、整改提醒,实现全域保温系统的统筹管理、溯源分析与运维规划,兼顾本地实时诊断与远程精细化管控。

4 系统核心在线诊断逻辑与落地应用要点

4.1 热工性能常态研判逻辑

系统依托边缘节点内置的各类保温材料标准热工参数模型,结合现场实时工况动态修正基准阈值,摒弃传统固定阈值判定的粗放模式。针对不同季节、不同环境工况自动适配判定标准,避免因环境正常波动导致的误判、漏判。通过实时采集的热工参数,动态计算保温材料实际保温效能,对比初始服役状态与设计参数,精准判定材料性能衰减程度,区分正常老化衰减与异常故障失效,实现常态化精准研判。

4.2 典型热工缺陷精准识别逻辑

基于边缘端多维度数据联动分析能力,通过温度、热流、湿度多参数耦合变化特征,区分不同类型热工缺陷。当保温材料局部受潮时,会出现局部热流数值骤升、内部湿度异常、温度梯度紊乱的特征;当出现施工缝隙、漏风问题时,会产生区域性温度突变、热流分布不均的现象;

材料老化粉化则表现为整体热阻持续缓慢下降、热工参数趋于稳定衰减。边缘算法通过捕捉各类缺陷的特征数据,实现缺陷精准分类与点位定位,为靶向整改提供依据。

4.3 现场落地应用关键点

工程落地过程中,需遵循轻量化、适配化、易运维的原则,贴合现场实际工况优化系统部署。传感器布点需聚焦保温结构关键部位、易失效部位,比如墙体转角、管道接口、设备保温接缝等热桥高发区域,保障监测针对性;边缘算法需根据现场所用保温材料类型、服役环境完成前期适配调试,剔除场地干扰因素;系统预警机制分级设置,轻微性能衰减推送整改提醒,严重保温失效即时声光预警,兼顾运维精准性与高效性。同时系统兼容各类常规传感设备,安装调试简单,无需大幅改造现有保温结构,落地成本低、适配性强。

5 工程应用价值与发展展望

5.1 工程应用价值

该诊断体系彻底突破了传统保温材料热工检测的技术瓶颈,实现了从“周期性人工抽检”到“全天候智能在线诊断”的转变,大幅降低人工巡检成本与运维工作量。通过精准识别早期热工隐患、靶向整改缺陷问题,有效减少保温系统无效能耗,提升建筑与工业设备节能水平,同时避免小隐患累积引发的设备腐蚀、能耗超标、运行故障等问题,提升系统运行安全性。边缘计算本地化诊断的特性,让整套系统适配各类复杂工况,通用性、落地性极强,可广泛应用于民用建筑、工业厂房、热力管网、储能设备等各类保温场景。

5.2 发展展望

当前基于边缘计算的保温材料热工在线诊断技术仍可进一步优化升级,后续可依托边缘人工智能算法,实现保温材料性能衰减趋势的精准预测,提前预判隐患发生概率,实现从“被动诊断整改”向“主动预判防护”升级。同时可搭建多设备联动体系,将保温性能诊断数据与建筑能耗系统、工业设备运维系统联动,实现能耗调控、保温运维、设备管控的一体化智能管理。随着边缘算力轻量化、算法精准度的持续提升,该技术将成为建筑节能、工业运维智能化升级的核心支撑技术。

6 结语

保温材料热工性能的稳定是节能降耗与设备安全运行的关键保障,传统检测诊断模式的滞后性、粗放性已无法适配智能化运维的行业需求。边缘计算技术凭借低延迟、本地化、高适配、轻量化的核心优势,完美解决了传统云

端诊断与人工检测的诸多短板,构建了贴合工程实际的在线智能诊断体系。通过三级架构搭建与精细化算法研判,实现保温材料热工性能动态监测、缺陷精准识别、隐患即时预警,大幅提升保温系统运维的精准度与效率,降低能耗与运维成本。该技术方案落地性强、适配场景广,契合建筑节能与工业智能化发展趋势,具备极高的工程应用价值与推广前景。

[参考文献]

[1]王林,阚安康,陈照峰.真空绝热板边缘热桥效应及其测试

方法[J].中国建材,2024,(11):114-117.

[2]吴启蒙,李光波,檀稳结,卞磊.办公楼外墙施工中保温节能技术的应用[J].中国建筑金属结构,2023,22(11):68-70.

[3]刘文逸.建筑保温材料燃烧性能等级研究及分级试验[J].建筑技术开发,2018,45(19):117-119.

[4]徐振宇,刘禹,刘旭华.建筑保温材料 A2 级燃烧性能的试验分析[J].河南科学,2016,34(6):901-906.

作者简介:邹精(1989.02—),女,汉族,四川遂宁人,本科,中级工程师,研究方向:建筑材料。