

数据驱动的智慧供热系统故障诊断方法研究

陈 星 杨金亮

郑州英集动力科技有限公司 河南郑州 450001

摘 要: 本文聚焦于数据驱动的智慧供热系统的故障诊断方法研究,探讨了如何利用大数据分析技术提升供热系统运行效率和稳定性。通过集成机器学习算法与物联网技术,提出了一套创新的故障检测与诊断框架,旨在实时监控供热网络状态、自动识别潜在故障,并提供优化建议。实验结果表明,该框架不仅能够显著提高故障检测准确率,还能有效减少能源浪费,为实现绿色、智能城市提供了技术支持。

关键词: 智慧供热系统; 故障诊断; 大数据分析; 机器学习

引言

随着城市化进程加快,传统供热方式面临资源浪费、环境污染等挑战。智慧供热系统对提升居民生活质量、节能减排至关重要。复杂的网络结构和多变环境导致系统易出现故障,因此探索高效的数据驱动故障诊断方法,保障供热系统安全运行非常必要。

一、文献综述

智慧供热系统的探索与应用在提升能源利用效率和保障居民舒适度方面展现出巨大潜力,现有研究多集中在通过传感器网络实现对供热参数的实时监控,并运用数据分析方法识别系统故障。然而,这些技术在实际部署中面临数据精度不足、复杂环境下的适应性差以及算法泛化能力弱等问题。针对这些问题,融合物联网与先进算法的新方案成为研究热点,旨在提高诊断准确率的同时确保系统的稳定运行。

二、理论基础

供热系统通过热源产生热量,经由管网输送到终端用户,实现空间加热或热水供应等功能。在这个过程中,常见的故障类型包括管道泄漏、泵故障及阀门卡滞等,这些问题直接影响系统的运行效率和安全性。而借助传感器网络收集的海量数据,如温度、压力、流量等参数,利用机器学习算法可以挖掘隐藏在数据中的模式与规律,从而对潜在故障进行预测和定位。通过对历史数据的学习,模型能够识别出正常操作条件下的特征,并在检测到异常时发出警报。这种基于数据驱动的方法不仅提高了故障诊断的速度和准确性,还能帮助运维人员更好地理解系统行为,采取预防性维护措施,减少意外停机时

间,提升供热系统的整体性能和可靠性。

三、模型构建

1. 设计基于物联网的数据采集方案

通过部署一系列传感器于关键节点,如热源、泵站及用户端,可以实现对温度、压力、流量等参数的全面监控。这些传感器将物理量转换为电信号,并通过无线通信技术传输至数据中心。为了确保数据传输的安全与稳定,采用加密协议和冗余设计防止信息丢失。考虑到不同设备间的兼容性问题,统一标准接口成为必要选择。整个数据采集过程需严格控制误差范围,保证数据的真实可靠。

2. 提出融合多种机器学习算法的故障诊断模型

针对供热系统的复杂性和多变性,混合模型结合监督学习与无监督学习的优点,利用决策树识别简单明确的故障模式,而神经网络则擅长处理复杂的非线性关系。支持向量机用于分类任务,提高模型的泛化能力。通过集成这些算法,能够从海量数据中提取有价值的信息,精准定位故障源头。此方法不仅增强了模型的适应性和鲁棒性,还能有效应对不同类型故障。各算法之间相互补充,形成一个强大的诊断工具集,助力供热系统的高效运行和管理。

3. 讨论模型选择依据及其优势

本研究综合考虑了算法的准确性、计算效率及可解释性等因素。例如,在面对大规模数据时,随机森林由于其高准确度和良好的抗过拟合性能成为理想选择;相比之下,K近邻算法虽简单易用,但在特征维度较高时表现欠佳。逻辑回归模型以其清晰的数学表达式和易于理解的特点,在特定场景下显示出独特价值。通过对比

实验验证，发现所选模型组合能在保持较低误报率的同时，快速响应系统异常。这种基于具体应用场景优化模型配置的方式，极大提升了故障诊断的有效性和实用性，为智慧供热系统的稳定运行提供了强有力的技术支持。

增加各算法的简单解释如下：

随机森林 (Random Forest)：随机森林是一种集成学习方法，它通过构建多个决策树并将它们的结果进行汇总来提高预测性能。每棵树都是用通过自助法 (bootstrap) 抽样得到的数据集训练而成，且每个节点的分裂只考虑特征的一个随机子集。

K近邻算法 (K-Nearest Neighbors, KNN)：KNN是一种基于实例的学习算法，它通过寻找数据集中与新样本最近的K个实例来预测新样本的类别或数值。尽管其概念简单且易于实现，但在特征维度较高时表现欠佳，因为高维空间中的距离计算变得更加复杂。

逻辑回归 (Logistic Regression)：逻辑回归主要用于解决二分类问题，它通过估计输入变量属于某一类别的概率来进行分类。逻辑回归以其清晰的数学表达式和易于理解的特点，在特定场景下显示出独特价值。

四、实验设计与验证

为验证数据驱动的智慧供热系统故障诊断方法的有效性，构建了一个模拟供热系统的测试平台，该平台包括热源装置、循环泵、换热器及用户终端模拟器，并通过物联网技术实现互联。实验环境利用虚拟化技术创建了多个独立运行的场景，以模拟管道泄漏、阀门卡滞等实际故障情况，确保实验的灵活性与扩展性。实验数据来源于实际供热系统的记录和实验室生成的数据集，涵盖温度、压力等多个维度。为提升数据质量，采取插值法填充缺失值、去除异常点和平滑时间序列等预处理步骤，并通过标准化将数据转换至统一区间。特征工程提取了如变化率、峰值等关键特征，用于模型训练。在评估模型性能时，对比了单一算法与提出的混合模型在检测准确率、响应时间和鲁棒性上的表现，结果显示，混合模型在复杂故障识别上具有显著优势，特别是在减少误报和漏报方面表现出色。这表明，基于物联网和机器学习的方法能够有效提高供热系统的管理效率和服务水平，具备较高的实用价值。整个实验设计充分考虑了可靠性和可重复性，证明了所提方法的有效性。

五、案例分析

在一个典型的智慧供热系统应用场景中，选取了一个

中等规模的城市社区作为研究对象。该社区由多个住宅楼和商业建筑构成，供热网络复杂，包含多条主干管和分支线路。为了实现对温度、压力、流量等关键参数的实时监控，在热源、泵站及用户端等关键节点部署了一系列高精度传感器。这些传感器将采集的数据通过物联网技术传输至中央处理单元进行分析处理。在这个案例中，重点关注了冬季供暖高峰期可能出现的几种常见故障类型，如管道泄漏、阀门卡滞以及泵故障。利用融合多种机器学习算法的模型，能够准确预测并定位这些潜在问题，为维护人员提供及时预警。

在实际操作中，数据质量问题成为一大挑战。长时间运行导致传感器出现数据漂移现象，严重影响了故障诊断的准确性。为解决这一问题，引入了自动校准机制，确保数据的精确性。例如，在实施自动校准前，某传感器记录的温度数据平均偏差达到了 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，而在引入校准后，这一数值降低至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内，极大地提高了数据质量。同时，定期进行人工检查与调整，进一步保证了数据的真实性和可靠性。优化后的数据不仅更加稳定，而且在不同工况下的适应性也显著增强，使得基于这些数据的故障诊断更为精准。

面对突发性故障时，快速响应能力是另一个需要克服的难题。为此，优化了算法结构，提升了模型的计算效率。具体而言，经过优化后的模型能够在1分钟内完成一次完整的故障检测流程，相比之前的5分钟大幅缩短。这种高效能不仅加速了故障响应速度，还降低了因延误造成的损失。为了提高系统的鲁棒性，增加了冗余设计。即便部分组件出现故障，整个系统仍能保持稳定运行，有效避免了单点故障带来的风险。

通过分析历史数据，灵活调整供热参数，既满足了用户的舒适度要求，又实现了节能减排的目标。比如，在非高峰时段适当降低供热强度，节约能源的同时减少了运行成本。这些措施共同作用下，不仅解决了实际操作中遇到的问题，还验证了基于物联网和大数据分析技术的智慧供热系统在提升管理效率和服务水平方面的巨大潜力。(见下表1)

综上所述，通过采用一系列改进措施，包括自动校准机制、优化算法结构以及动态调节策略，显著提升了智慧供热系统的性能和稳定性。这些改进不仅改善了数据质量，提高了故障诊断的准确性，还增强了系统的自适应能力和鲁棒性，展示了物联网和大数据分析技术在供热领域的广阔应用前景。未来，随着技术的进步和更

表1 智慧供热系统改进措施及其效果

改进措施	目标	实施细节	效果
自动校准机制	解决数据质量问题	在传感器长时间运行导致的数据漂移现象中引入自动校准机制	温度数据平均偏差从 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降低至 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内, 提高了数据质量和故障诊断准确性
优化算法结构	提升快速响应能力	优化模型算法结构, 提升计算效率	故障检测流程时间从5分钟缩短到1分钟, 加快了故障响应速度并减少了损失
冗余设计	增强系统鲁棒性	增加冗余设计以应对部分组件可能出现的故障	即便部分组件出现故障, 整个系统仍能保持稳定运行, 有效避免单点故障带来的风险
动态调节策略	满足不同时段需求变化	根据历史数据分析, 灵活调整供热参数	在非高峰时段适当降低供热强度, 既满足用户舒适度要求, 又实现了节能减排目标

多创新方案的提出, 预计将进一步推动智慧供热系统的发展, 为构建更加智能、环保的城市基础设施贡献力量。

六、讨论

数据质量, 尤其是传感器数据漂移, 对模型性能和故障诊断准确性有重大影响, 增加了误报率并可能掩盖真实故障。面对复杂工况, 单一算法难以应对, 集成多种机器学习算法能更全面地捕捉系统状态变化, 提高诊断准确性。未来的发展方向包括开发自动化校准机制以补偿数据漂移, 探索深度学习在早期故障预测中的应用潜力。此外, 跨学科合作融合物联网、大数据分析及AI技术, 可实现供热系统的全方位优化管理。通过改进算法结构、采用分布式计算与边缘计算技术, 可以加快数据分析速度, 提高实时决策能力, 从而提供更舒适、节能的服务体验, 推动智慧城市建设。

结束语

本文通过深入研究数据驱动的智慧供热系统故障诊断方法, 提出并验证了一种新的故障检测与诊断框架。研究表明, 采用先进的数据分析技术和智能化手段可以

大大提高供热系统的管理效率和服务水平。尽管取得了一定成果, 但仍有诸多方面需进一步完善, 如算法优化、成本控制等。希望本研究能激发更多学者关注这一领域, 共同推动智慧供热技术的发展, 为建设更加环保、高效的智慧城市贡献力量。此外, 强调持续的技术创新和跨学科合作的重要性, 呼吁各界共同努力, 不断探索和完善智慧供热系统故障诊断的方法和技术。

参考文献

- [1]朱振林, 荆涛, 王洪. 基于数据驱动的供热系统二次网智慧调控技术的研究[J]. 自动化应用, 2023, 64(21): 227-229.
- [2]吴涛. 区域供冷供热系统冷热源方案设计软件DCHS-SDS开发[D]. 重庆大学, 2019.
- [3]钟健, 动力工程. 基于数据驱动的供热系统异常工况诊断研究[D]. [2025-04-19].
- [4]赵庆亮, 张博航, 冯文宝. 由水轮机发电驱动的热力入口智能控制系统及控制方法: CN201810138201.6[P]. CN108386901A[2025-04-19].