

火电厂多源异构数据融合的设备安全态势 AI 感知方法

许 枫¹ 王晓峰¹ 郑锁成¹
XU Feng WANG Xiaofeng ZHENG Suocheng

摘 要

火电厂复杂电磁环境下, 设备状态监测面临多源异构数据高维冗余、特征耦合性强、状态突变点难以精准捕获, 以及强噪声干扰下设备早期劣化趋势感知响应迟滞等问题, 文章提出一种基于多尺度特征融合与动态自适应分割的设备安全态势 AI 感知方法。构建改进层次神经网络与决策树融合模型, 通过文本化转换与卷积特征提取实现异构数据降维与深度特征融合。引入视觉分析 AI 算法, 结合高斯滤波与多特征加权融合机制, 优化图像目标的纹理与边缘特征提取精度。采用累积和算法实现运行参数时间序列的动态分割与突变点检测, 并构建多时间尺度趋势融合模型, 引入安全态势长度指数量化设备安全裕度。实验结果表明, 所提方法在变压器线路监测中态势感知误差小于 20 MVA, 数据融合耗时低于 2.5 s, 能够有效预警设备异常, 提升火电厂设备安全监测的准确性与实时性。

关键词

火电厂; 多源异构数据; 设备; 安全态势; 感知

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2026.06.029

0 引言

火力发电厂作为国家电力供应的核心支柱, 其安全稳定运行直接关系到社会经济发展。火电厂在实际运行中面临着设备老化等多种安全风险。为实现火电厂的安全可靠运行,

必须对海量的多源异构数据进行高效融合和智能分析。在研究中, 陈明等^[1]建立了统一威胁情报管理系统, 通过制定个性化响应策略及利用自动化工具支持, 实现快速响应与情报反馈, 从而优化模型准确性。但当前情报收集存在滞后性, 部分情报来源的可靠性不足, 影响了感知准确性。林广朋等^[2]构建了径向基函数神经网络, 通过非线性映射捕捉攻击行为

1. 国能神皖合肥发电有限责任公司 安徽合肥 230000

参考文献:

- [1] 郭兆华, 文师召, 李思凡, 等. 基于近红外光谱结合数据增强 CNN 算法的白芷产地溯源方法 [J]. 中国药学杂志, 2024, 59(21):2022-2029.
- [2] 高官岳, 孙传恒, 罗娜, 等. 基于区块链的农产品供应链溯源数据多条件查询优化方法研究 [J]. 农业机械学报, 2024, 55(3):362-374.
- [3] 王璠, 汪江, 温炜, 等. 映射关系下多模态微电网数据实时检索仿真 [J]. 计算机仿真, 2024, 41(11):173-177.
- [4] 朱铜, 艾松, 陈琨, 等. 应用数据基线模型的重燃叶片制造质量异常溯源路径搜索方法 [J]. 西安交通大学学报, 2024, 58(2):136-145.
- [5] 李艳华. 跨境数据流动中欧美间政府访问数据的理论溯源、现实矛盾与监管发展 [J]. 情报杂志, 2023, 42(7):86-92.
- [6] 陈冬英, 张昊, 张子龙, 等. 基于改进 1D-VD-CNN 与近红外光谱数据的金银花产地溯源研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2023, 43(5):1471-1477.
- [7] 孙传恒, 魏玉冉, 邢斌, 等. 基于智能合约和数字签名的

马铃薯种薯防窜溯源研究 [J]. 农业机械学报, 2023, 54(7): 392-403.

- [8] 孙传恒, 袁晟, 罗娜, 等. 基于区块链和边缘计算的水稻原产地溯源方法研究 [J]. 农业机械学报, 2023, 54(5): 359-368.
- [9] 田超, 郑皎凌. CTS: 基于拥堵溯源算法的信号灯多智能体强化学习组织方案 [J]. 计算机应用研究, 2023, 40(1): 178-184.
- [10] 潘华良, 丁海斌, 唐密, 等. 公路建设项目多维度档案数据溯源管理系统的作用与功能实现 [J]. 北京档案, 2023(5): 34-37.

【作者简介】

张多志 (1971—), 男, 甘肃张掖人, 本科, 工程师, 研究方向: 电力营销、市场拓展。

胡晓祥 (1986—), 男, 甘肃武威人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 电气工程。

梁锐凯 (1992—), 男, 甘肃兰州人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 计算机科学与技术。

(收稿日期: 2025-10-10 修回日期: 2026-05-28)

与网络状态之间的复杂关系。对 RBF 网络参数进行全局寻优,以避免局部最优解,从而提升模型泛化能力。若数据集未覆盖新型攻击模式,模型可能漏检或误报。因此,本研究提出了一种基于多源异构数据融合的设备安全态势 AI 感知方法。该方法通过整合来自不同传感器的数据,利用人工智能技术实现对火电厂设备安全状态的全面感知和实时分析。

1 设备安全态势 AI 感知方法

1.1 多源异构高精度数据特征融合

以火电厂设备为例,在多源异构数据采集过程中,受采集设备性能差异和火电厂复杂环境等多种因素影响,采集到的数据存在显著冗余,为提升采集数据整体质量,需要对多源异构数据冗余处理。由于火电厂设备状态数据以信息流形式呈现,用公式表示为:

$$S = \{EID, Area, State, t\} \quad (1)$$

式中: EID 为火电厂设备编号, Area 为设备安装区域, State 为火电厂设备状态数据集, t 为设备数据采集时间。

通过对采集到的火电厂设备数据进行降维处理,将降维后的信息化异构多元目标数据转换为文本信息^[3]。随后,将这些文本信息输入到改进的层次神经网络中。利用网络模块对文本中的字向量和词向量进行深度分析和提取。具体而言,卷积神经网络对词向量进行处理,通过卷积核在词向量上的滑动操作,提取局部特征。将提取的全局特征与火电厂设备状态的关键信息结合,假设这些关键信息构成一个向量 K ,通过一个线性变换将全局特征向量 Z 与关键信息向量 K 融合,得到提取的特征向量为:

$$F = w_f \times [Z, K]^S + b \quad (2)$$

式中: w_f 为权重矩阵, b 为融合偏置项。

依据特征提取结果,对信息化异构多元目标数据进行融合。因此构建决策树。设多源异构数据特征集为 G , 且特征集 G 中一定数量的数据特征^[4]。从决策树训练集中随机选取第 i 个样本数据的训练子集 (x_i, y_i) , 通过对训练子集中全部成分展开遍历,得到对应的系数。利用转移矩阵实现样本训练子集的输出,并根据不同样本子集输出结果,建立多个模型决策树。假设训练数据集中存 L 个数据类别,此时训练数据的 GiniD 指数的计算公式为:

$$GiniD = 1 - \sum_{l=1}^L \left(\frac{|D_l|}{D} \right)^2 \quad (3)$$

式中: D 为训练集中样本子集。

利用上述公式对训练数据集中的全部类别展开遍历,将得到的 GiniD 按照由小到大的顺序排列,取排列最靠前的 GiniD 作为数据集的最优切分点^[5]。通过这种方式,能够精准地确定决策树中每个节点的最佳分裂特征,从而提高决策树的融合准确性。在模型决策树的生成后,对每棵决策树的多源异构数据结果展开融合。融合结果为:

$$\psi = g \left(\sum_i GiniD(x) \times L \right) \quad (4)$$

式中: g 为融合函数, L 为特征提取结果。

通过这种融合方式,综合考虑了多个决策树的分类结果,能够有效降低单一决策树可能出现的误差,实现异构目标数据的高精度融合。通过对火电厂设备多源异构数据的特征提取和多源异构数据融合过程,能够有效处理数据冗余问题,提高数据质量。

1.2 AI 算法的特征融合优化

在构建 AI 算法模型并运用其处理多源异构数据以实现特征融合精准调整的过程中,传统方法往往面临诸多局限。以视觉分析 AI 算法在识别零件图像为例,当模型对具有细微纹理差异的零件分类不准确时,传统思路多聚焦于图像数据本身,认为是在特征融合过程中未能充分捕捉纹理特征^[6]。然而,这种单一视角的调整方式,忽略了多源异构数据间复杂的交互关系以及特征融合过程中的动态特性,导致调整效果有限,模型性能提升不显著。为此,提出一种基于动态权重自适应与多模态特征协同增强的创新特征融合优化方法。在图像目标提取阶段,不再局限于传统的降噪处理方式。引入一种改进型高斯滤波与局部自适应阈值相结合的降噪策略,利用高斯滤波对采样图像进行初步降噪以实现图像平滑化,其计算公式为:

$$I'(x, y) = \frac{\alpha}{3\pi\sigma^2} \times Q \quad (5)$$

式中: σ 为高斯滤波系数, α 为动态调整系数。

与传统方法不同的是,所提方法并非简单固定值,而是根据图像局部区域的纹理复杂度和噪声水平,动态调整值。通过这种动态设置,能够有效去除图像中的高频噪声,同时更精准地保留图像的主要特征信息,避免了因过度降噪而导致关键特征丢失的问题。

在完成图像数据特征的初步融合后,将原始图像中的噪声特征与有用特征进行分离处理,突出关键特征^[7]。进入特征提取环节,边缘检测技术用于衡量图像中每个像素点的强度变化。但传统边缘检测技术仅考虑像素点自身的梯度信息,忽略了周围像素的上下文关联。提出一种基于上下文感知的边缘检测技术,图像的梯度大小与方向计算公式分别为:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (6)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (7)$$

式中: G_x 、 G_y 为梯度分量, θ 为图像的梯度方向。

在计算梯度信息时,不仅需考虑当前像素点的梯度分量,还需结合其周围一定邻域内像素点的梯度信息,通过加权平均的方式得到更准确的梯度大小与方向。这样能够精准捕捉图像中目标的边缘特征,即使在复杂背景下,也能有效区分

目标边缘与背景干扰，作为图像目标识别的重要依据。

然而，在复杂背景下，仅依靠边缘特征难以准确识别目标对象。传统方法通常只简单地将颜色特征、纹理特征等与边缘特征进行线性融合，忽略了不同特征在不同场景下的重要性差异。提出一种基于注意力机制的多模态特征动态融合方法，将颜色特征、纹理特征等与边缘特征进行融合^[8]。通过注意力机制，模型能够自动学习不同特征在融合过程中的权重，根据图像的具体内容和识别任务，动态调整各特征的贡献度。完成图像特征的提取后，需要计算提取的特征与模板特征之间的相似度，以此实现对目标对象的识别。

传统相似度仅通过计算特征向量和模板特征向量的距离来判断相似度，忽略了特征向量内部各维度之间的相关性。提出一种改进的相似度计算方法，引入特征向量内部相关性分析，综合考虑特征向量各维度之间的协同作用。通过这种改进，计算得到的越小，不仅表示两个特征向量越相似，还能更准确地反映它们在语义层面的相似性。计算公式为：

$$d(f_q, f_t) = \frac{f_{q,d}^T \sum_{i=1}^n f_{t,i}}{f_{q,d}^T \sum_{i=1}^n f_{q,i} + f_{t,i}^T \sum_{i=1}^n f_{t,i}} \times \exp\left(-\frac{1}{2}(f_{q,d} - f_{t,d})^T \sum_{i=1}^n (f_{q,i} - f_{t,i})\right) \quad (8)$$

式中： f_q 为查询图像特征向量， f_t 为模版特征向量。

通过上述创新的 AI 算法对多源异构数据融合过程的调整，能够显著优化 AI 算法在图像目标提取与处理中的性能。优化后的特征融合方法能够更全面准确地捕捉图像中的信息，提高模型对目标的识别准确性，尤其在复杂场景和具有细微差异的目标识别中表现出色，为 AI 算法在视觉分析领域的应用提供了新的思路和方法。

1.3 设备安全态势感知

在运行工况复杂化的背景下，通过部署在变压器等设备上的传感器网络，实时采集多元参数，形成设备运行状态的时间序列数据集^[9]。采用累积和算法实现时间序列的动态分割，通过监测拟合误差的累积偏差来检测状态突变点。设定初始时刻 t_1 ，计算初始多项式模型 $D(t)$ ，在每个采样步长 Δt 计算观测值与模型预测值的偏差，并更新统计量。其公式为：

$$C(t) = C(t - \Delta t) + e(t) \quad (9)$$

式中： $e(t)$ 为偏差值。

当 $C(t)$ 超过预设阈值 ε 时，判定发生状态突变，以当前时刻为分段点，重新初始化模型参数，实现趋势模型的动态自适应。该算法通过积分误差而非瞬时误差进行判断，有效抑制了噪声干扰。在多时间尺度趋势融合分析中，火电厂设备安全态势受机组负荷等多因素耦合影响，需构建多时间尺度的趋势分析模型进行设备态势感知。其建立态势感知模型表示为：

$$E(t) = a \cdot \int_{t-\Delta t}^t \frac{dD(\tau)}{d\tau} + \sum_{k=1}^N [W_m(k-1)\Delta t] \quad (10)$$

式中： $D(\tau)$ 为监测参数安全态势长度， Δt 为采样间隔， W_m 为权重系数。在前期尺度中，通过高频采样数据捕捉设备瞬态变化，识别负荷突变等安全事件。在中期尺度分析中，通过日负荷循环获得对设备热应力结果。在后期尺度分析中，通过监测设备劣化趋势，预测剩余使用寿命。通过在复杂工况下的趋势预测，可以获得数据融合趋势变化程度，从而获得精准变化分析结果^[10]。其次，引入安全态势长度 SD 指数作为安全态势的量化指标，该指数通过计算设备当前运行参数与预设安全阈值的几何距离，综合反映设备安全裕度。则安全态势长度 SD 的计算公式为：

$$SD = \frac{T_{\max} - T_a}{T_a} \quad (11)$$

式中： $T_{\max}$ 为设备耐受温度， T_a 为阈值。

SD 指数越接近 1 表明安全裕度越大，趋近于 0 则预示风险加剧。通过这种方式最终实现火电厂设备安全的自主感知。

2 实验测试与分析

2.1 搭建实验环境

选取某大型燃煤发电厂作为实验对象，此发电厂作为区域电力供应的支撑，保障当地电力稳定供应。为全面分析火电厂设备构成及运行状况，配置 5 台 550 MW 的发电机，额定电压为 20 kV。变压器为 6 台 400 MW 的高压变压器，配电装置为 10 kV 的高压配电柜。输电线路为架空输电线路，辅助设备为一套冷却系统。其变压器设备如图 1 所示。



图 1 火电厂变压器设备

实验期间，收集发电厂内设备的图像和视频数据，获得设备状态等信息。同时，在发电厂全区域安装高清摄像头，用于采集实时图像数据并传输至数据处理服务器，将识别结果以可视化形式呈现给巡视人员。在测试过程中，设置 3 个小组。其中本文方法为实验组，另外两组作为对照。将不同方法应用于发电厂设备巡视作业线路的设计中，以此全面开展火电厂多源异构数据融合的设备安全态势感知方法测试。

2.2 结果与分析

为验证本文的火电厂多源异构数据融合的设备安全态势 AI 感知方法有效性。通过对变压器线路进行安全态势长度进行分析。随着设备运行时间的增加，选择某支线安全态势长

度的非线性变化趋势并精准捕捉。在 35 min 时线路达到最高值。通过对比不同方法与实际值（20 MVA）的变化情况，反映不同方法对设备运行状态随时间演变的感知能力。具体结果如图 2 所示。

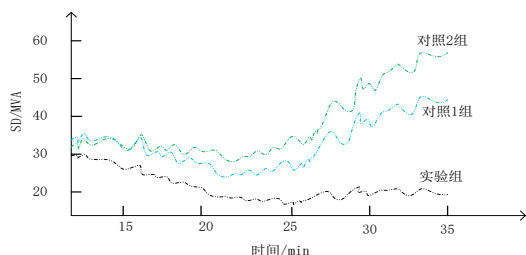


图2 支线态势感知结果

实验结果表明，支线在 25 min 时安全态势长度出现变化，对照组在后续 10 min 内急剧增加，其 SD 值超过 40 MVA。而实验组的 SD 值则小于 20 MVA。经过与实际情况进行分析发现，本文感知方法在电力设备异常运行期间的平均安全态势长度变化特征是相契合的，从而准确判断出该线路存在异常。结果表明，本文的感知方法能够深度挖掘多源异构数据中的信息，精准反映设备安全态势的动态变化，提前预警可能出现的异常情况，为保障电力设备的稳定运行提供了强有力的支持，相较于传统方法具有显著的优势，在火电厂设备安全监测领域得到广泛应用。

同时，实验为验证有效数据融合在安全态势感知中的作用。将设备运行参数与监控图像相结合这种数据融合方式，分析融合对设备运行状态判断的准确性，以此来获得安全态势感知的应用效果。在数据融合过程中，针对三种不同方法在数据融合环节的融合时间展开统计分析，其结果如图 3 所示。

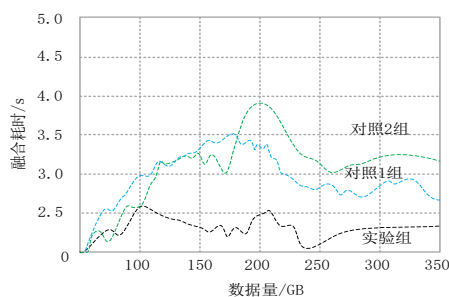


图3 数据融合能力

从图 3 中可知，实验组在数据融合耗时上表现优异，其融合耗时均小于 2.5 s，相较于其他小组耗时更短。这一优势为实验组对特征提取结果进行了科学整合，提高了信息化异构多元目标数据融合效率，实现了融合效率的最大化。在数据融合过程中，更精准地判断设备运行状态，验证了本文方法在安全态势感知中的良好性能与显著成效，为保障设备安全稳定运行提供了可靠的技术手段。

3 结语

本文围绕火电厂复杂环境下的设备安全态势感知问题，开展了一系列理论探索与实证研究。针对多源异构数据冗余性强、特征耦合度高、状态突变点难以捕捉等核心难点，提出了融合改进层次神经网络、多特征加权决策树与视觉分析算法的数据处理框架，实现了异构信息的高效降维与精准融合。通过引入累积和动态分割算法和多时间尺度趋势融合模型，构建了具备噪声抑制与自适应能力的安全态势感知机制，并提出安全态势长度指数，实现了设备运行风险的量化评估。实验结果表明，所提方法在态势感知精度和融合效率方面均显著优于传统方法，具备良好的工程适用性与推广价值，为复杂工业场景下的设备智能监控与早期故障预警提供了可靠的技术路径。

参考文献：

- [1] 陈明, 高金虎. 基于威胁情报的网络空间安全态势感知研究 [J]. 情报杂志, 2024, 43(8): 25-33.
- [2] 林广朋, 李闯. 入侵攻击下无线网络安全态势感知算法 [J]. 计算机仿真, 2023, 40(12): 451-454.
- [3] 张全有. 安全态势感知与统一安全策略管理在煤矿网络安全中的应用 [J]. 工矿自动化, 2023, 49(S2): 89-94.
- [4] 郭宇, 李昶霏, 张传洋, 等. 多模态数据驱动的安全态势感知框架构建 [J]. 图书情报工作, 2024, 68(24): 4-14.
- [5] 王秉, 史志勇. 数智赋能情报驱动的城市低空安全态势感知塑造机制 [J]. 城市发展研究, 2025, 32(6): 9-17.
- [6] 刘威, 邓巍. 基于 RBF 神经网络的主动配电网通过程序安全态势感知方法 [J]. 电网与清洁能源, 2024, 40(5): 52-58.
- [7] 贾若男, 陈晓琳, 郭宇. 多模态数据驱动的网络数据安全态势感知理论模型构建 [J]. 情报杂志, 2025, 44(7): 69-76.
- [8] 姚怡帆, 胡峰. 安全情报视域下的网络空间安全态势感知 [J]. 情报杂志, 2025, 44(3): 90-97.
- [9] 罗智勇, 宋伟伟, 张文博, 等. 基于 Markov 攻击图和博弈模型的区块链安全态势感知方法 [J]. 电子与信息学报, 2023, 45(4): 1374-1382.
- [10] 朱文, 江伟, 周志峰, 等. 基于电网调度系统的网络安全态势感知方法研究 [J]. 电测与仪表, 2024, 61(7): 21-27.

【作者简介】

许枫（1975—），男，安徽安庆人，硕士研究生，工程师，研究方向：安全环保生产。

王晓峰（1995—），男，安徽舒城人，本科，工程师，研究方向：集控运行，email: wangyao30012@163.com。

郑锁成（1982—），男，江苏阜宁人，硕士，工程师，研究方向：集控运行。

（收稿日期：2025-10-22 修回日期：2026-05-28）