

# 间冷翅片堵塞红外测温智能诊断技术应用探索

李吉波 马吉林 凌国庆 薛刚 纪浩文  
国能宁夏大坝发电有限责任公司 宁夏 吴忠 751100

**摘要：**随着工业的发展，间冷系统在各类工业设备中的应用越来越广泛。间冷翅片作为间冷系统的关键部件，其堵塞问题严重影响系统性能。本文聚焦于间冷翅片堵塞的红外测温智能诊断技术应用探索。通过对红外测温原理的深入剖析，结合智能算法构建间冷翅片堵塞的智能诊断系统。该系统能够高效、准确地检测间冷翅片的堵塞状况，为及时维护提供有力依据，提升间冷系统运行的稳定性和可靠性。研究结果表明，红外测温智能诊断技术在间冷翅片堵塞检测方面具有显著优势，有望在工业领域得到广泛应用。

**关键词：**间冷翅片；堵塞；红外测温；智能诊断

## 引言

间冷系统作为工业生产中实现热量交换与控制的重要环节，其运行效率和稳定性直接关系到整个生产流程的顺利进行。间冷翅片作为间冷系统的核心换热元件，通过增大换热面积来提高换热效率。然而，在实际运行过程中，间冷翅片极易受到多种因素的影响而发生堵塞现象。随着科技的不断进步，红外测温技术逐渐发展成熟，并在工业检测领域得到了广泛应用。红外测温技术基于物体的热辐射特性，能够非接触式地快速、准确测量物体表面温度。间冷翅片在正常运行和堵塞状态下，其表面温度分布存在明显差异，利用红外测温技术可以有效捕捉到这种温度变化，从而为间冷翅片堵塞检测提供了新的思路。将智能算法与红外测温技术相结合，构建红外测温智能诊断系统，能够实现对间冷翅片堵塞状况的高效、准确诊断，为间冷系统的安全稳定运行提供有力保障。因此，开展间冷翅片堵塞红外测温智能诊断技术应用探索具有重要的现实意义和工程应用价值。

## 1 间冷翅片堵塞的危害及传统检测方法局限

### 1.1 间冷翅片堵塞的危害

间冷翅片堵塞会显著降低系统换热效率。堵塞物在翅片表面形成隔热层，增加热阻，同时减少有效换热面积。依据傅里叶定律，低导热系数的堵塞物延长传热路径，如2mm水垢可使热阻增加5-10倍，有效换热面积减少20%-30%，导致换热效率降至原来的60%-70%，加剧能源浪费。堵塞还会大幅增加系统能耗。为维持设备正常运行，需提高冷却泵、风机功率以增加介质流量，相关能耗占冷却系统总能耗的60%-70%，流量增加30%时能耗可能上升50%-60%；高温工艺设备还会因换热不足加大加热功率，进一步推高能耗，加重企业负担并影响节能减排。此外，堵塞破坏设备稳定性并缩短寿命。换热

不均产生的热应力会导致金属变形、疲劳甚至开裂，如变压器绕组绝缘老化；系统压力分布异常引发的波动，会冲击管道、阀门等部件，造成磨损松动，增加故障风险，可能导致生产中断和经济损失。

### 1.2 传统检测方法局限

人工巡检存在明显缺陷。大型工业设施中间冷翅片数量庞大，逐一检查效率极低，难以满足快速检测需求；检测准确性依赖人员经验与责任心，易因主观差异或疲劳遗漏早期堵塞；且巡检环境多为高温、高湿、多尘区域，威胁工作人员健康与安全。基于简单传感器的检测方法同样存在局限。压力、流量传感器受系统阀门开度、温度波动等多种因素干扰，检测精度低，误报率高，如工艺调整导致的流量波动可能被误判为堵塞；且无法准确定位堵塞位置和程度，仅能反映系统整体变化，不利于针对性维护，难以满足现代工业对间冷系统高效稳定运行的要求，亟需更先进的检测技术<sup>[1]</sup>。

## 2 红外测温技术用于间冷翅片堵塞检测的优势

### 2.1 非接触式检测

与传统的接触式温度测量方法（如热电偶、热电阻等）相比，红外测温技术的最大优势之一在于其非接触式检测特性。在间冷翅片堵塞检测中，这一特性具有诸多重要意义。

首先，非接触式检测避免了对间冷系统正常运行的干扰。接触式测温需要将测温元件直接与间冷翅片接触，这可能会破坏翅片表面的原有状态，影响其换热性能。例如，在安装热电偶时，需要在翅片上打孔或粘贴，这可能会导致翅片表面受损，增加污垢附着的可能性，进而影响检测结果的准确性。而红外测温技术只需将红外传感器对准间冷翅片，无需与翅片进行物理接触，就可以快速、准确地测量其表面温度，不会对间冷

系统的正常运行产生任何影响。其次，非接触式检测提高了检测的安全性。间冷系统通常处于高温、高压、高湿等恶劣环境中，采用接触式测温方法，工作人员需要靠近设备进行操作，存在烫伤、触电、吸入有害气体等安全风险。而红外测温技术可以在较远的距离对间冷翅片进行温度测量，工作人员无需近距离接触设备，大大降低了安全事故的发生概率。例如，在一些高温窑炉的间冷系统中，翅片周围温度可能高达数百摄氏度，采用红外测温技术可以在数米之外完成温度检测，确保工作人员的人身安全<sup>[2]</sup>。

## 2.2 快速高效检测

红外测温技术能够实现对间冷翅片的快速温度测量，这对于提高检测效率具有重要意义。传统的人工巡检和基于简单传感器的检测方法往往需要花费大量的时间和精力，而红外测温技术可以在短时间内完成对大面积间冷翅片的温度扫描。

红外测温系统配备的红外热像仪能够同时采集多个点的温度信息，并生成实时的温度分布图像。例如，一台高性能的红外热像仪可以在每秒内获取数十帧甚至上百帧的红外热图像，每帧图像包含数千个像素点，每个像素点对应一个温度值。这意味着在几秒钟内，就可以完成对整个间冷翅片组的温度检测，大大缩短了检测时间。这种快速高效的检测特性，使得红外测温技术能够满足工业生产中对设备进行实时监测的需求，及时发现间冷翅片的堵塞问题，为设备维护争取宝贵时间<sup>[3]</sup>。

## 2.3 高准确性与高分辨率

红外测温技术具有较高的测量准确性和温度分辨率，能够精确捕捉间冷翅片表面的温度变化，从而准确判断翅片的堵塞状况。

现代红外测温系统的温度测量误差可以控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内，部分高精度的系统甚至可以达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的误差范围。这种高准确性保证了对间冷翅片温度测量的可靠性，能够有效区分正常运行和堵塞状态下的温度差异。同时，红外测温系统具有较高的温度分辨率，即能够分辨出微小的温度变化。例如，一些先进的红外热像仪可以分辨出 $0.05^{\circ}\text{C}$ 的温度差异，这对于检测早期的、轻微的间冷翅片堵塞现象至关重要。因为在堵塞初期，翅片表面的温度变化可能非常微小，只有高分辨率的红外测温系统才能捕捉到这种细微的温度变化，从而实现对堵塞问题的早期预警。

# 3 智能诊断算法在间冷翅片堵塞检测中的应用

## 3.1 智能诊断算法的选择

在间冷翅片堵塞的红外测温智能诊断中，需要选择

合适的智能算法来对红外测温数据进行分析和处理，以实现对堵塞状况的准确判断。目前，常用的智能诊断算法主要包括神经网络、支持向量机、决策树等。

神经网络算法具有强大的非线性映射能力和自学习能力，能够从大量的红外测温数据中学习到间冷翅片堵塞与温度分布之间的复杂关系。它通过模拟人脑神经元之间的连接方式，构建多层神经网络模型，对输入的温度数据进行特征提取和分类识别<sup>[4]</sup>。在间冷翅片堵塞检测中，神经网络可以通过训练样本学习到不同堵塞程度下的温度特征，从而对新的测温数据进行准确分类，判断翅片是否堵塞以及堵塞的严重程度。

支持向量机算法基于统计学习理论，通过寻找最优分类超平面来实现对数据的分类。它在小样本情况下具有较好的泛化能力，能够有效避免过拟合问题。对于间冷翅片堵塞检测，支持向量机可以将红外测温数据映射到高维特征空间，在高维空间中找到能够区分正常和堵塞状态的最优分类超平面，从而实现对堵塞状况的准确诊断。

决策树算法通过构建树状结构的决策模型，根据不同的特征属性对数据进行分类。它具有直观易懂、计算速度快的特点，能够清晰地展示决策过程。在间冷翅片堵塞检测中，决策树可以根据红外测温数据中的温度特征（如平均温度、温度标准差、最高温度等），逐步进行判断和分类，最终得出翅片是否堵塞的结论。

综合考虑各种算法的特点和间冷翅片堵塞检测的实际需求，神经网络算法在处理复杂非线性关系和大规模数据方面具有明显优势，因此在间冷翅片堵塞的红外测温智能诊断中得到了广泛应用。

## 3.2 数据预处理

在将红外测温数据输入智能诊断算法之前，需要进行数据预处理，以提高数据的质量和算法的诊断精度。数据预处理主要包括数据清洗、数据归一化、特征提取等步骤。

数据清洗是去除红外测温数据中的噪声和异常值。由于红外测温过程中可能受到环境干扰、设备故障等因素的影响，测量数据中可能存在一些不符合实际情况的异常值和噪声。这些异常值和噪声会影响智能算法的学习效果，导致诊断结果不准确。因此，需要采用合适的方法对数据进行清洗，例如通过设置阈值去除明显的异常值，采用滤波算法去除噪声等。

数据归一化是将不同量级的红外测温数据转换到相同的取值范围内，以消除数据量级差异对算法的影响。由于间冷翅片的温度范围可能因运行工况、环境条件等

因素而有所不同，不同批次的测温数据可能具有不同的量级。数据归一化可以将数据转换到[0,1]或[-1,1]等区间内，使得算法能够更公平地对待不同的特征变量，提高算法的收敛速度和诊断精度。常用的数据归一化方法包括最大-最小归一化、Z-score标准化等<sup>[5]</sup>。

特征提取是从红外测温数据中提取能够反映间冷翅片堵塞状况的有效特征。红外测温数据通常是高维度的（如红外热像仪的像素点数据），直接将高维度数据输入智能算法会增加计算复杂度，降低算法的运行效率。通过特征提取，可以将高维度数据转换为低维度的特征向量，保留数据中的关键信息。在间冷翅片堵塞检测中，常用的特征包括温度平均值、温度最大值、温度最小值、温度标准差、温度梯度等。这些特征能够在一定程度上反映翅片表面的温度分布情况，从而为堵塞诊断提供依据<sup>[6]</sup>。

### 3.3 模型训练与优化

智能诊断模型的训练是通过输入大量的标注数据（即已知是否堵塞以及堵塞程度的红外测温数据），调整模型的参数，使模型能够学习到数据中的特征与堵塞状况之间的映射关系。在模型训练过程中，需要将数据集分为训练集和验证集。训练集用于模型的参数学习，验证集用于评估模型的训练效果，防止模型出现过拟合现象。

在训练过程中，需要选择合适的损失函数来衡量模型的预测值与实际值之间的差异，并通过优化算法（如梯度下降法）不断调整模型参数，使损失函数的值最小化。同时，需要对模型的超参数（如神经网络的层数、神经元数量、学习率等）进行优化，以提高模型的性能。超参数的优化可以通过网格搜索、随机搜索、贝叶斯优化等方法实现。

模型训练完成后，需要对模型进行性能评估。常用的评估指标包括准确率、精确率、召回率、F1值等。准确率表示模型正确分类的样本数占总样本数的比例；精确率表示在模型预测为堵塞的样本中，实际为堵塞的样本所占的比例；召回率表示在实际为堵塞的样本中，被

模型正确预测为堵塞的样本所占的比例；F1值是精确率和召回率的调和平均数，综合反映了模型的分类性能。通过对模型性能的评估，可以判断模型是否满足间冷翅片堵塞检测的要求，若不满足，则需要重新调整模型参数或选择其他算法进行训练。

### 4 结论

综上所述，间冷翅片堵塞的红外测温智能诊断技术应用具有显著优势与重要价值。间冷翅片堵塞会降低换热效率、增加能耗、破坏设备稳定性，而传统检测方法存在局限。红外测温技术凭借非接触式检测、快速高效、高准确性与高分辨率的特点，为堵塞检测提供了新途径。智能诊断算法如神经网络等，能对红外测温数据有效处理，实现准确诊断。通过数据预处理、模型训练与优化，可进一步提升诊断精度。该智能诊断系统能够高效、精准地检测间冷翅片堵塞状况，为间冷系统及时维护提供有力依据，极大提升了系统运行的稳定性和可靠性，在工业领域具有广阔的应用前景，能为工业生产的高效节能与安全稳定运行保驾护航。

### 参考文献

- [1] 刘卫红,何勇,张贻飞,等.基于红外测温的智能诊断头盔设计[J].电动工具,2021,(06):6-10.
- [2] 刘嵘,刘辉,贾然,等.一种智能型电网设备红外诊断系统的设计[J].红外技术,2020,42(12):1198-1202.
- [3] 师一卿,任双赞,吴昊,等.带电设备红外智能诊断系统的设计及应用[J].电工技术,2019,(09):60-61.DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2019.09.019.
- [4] 周伟,崔昊杨.红外测温技术在电力设备故障诊断中的应用[J].上海电力学院学报,2016,32(06):543-546+569.
- [5] 李孟兴.电力设备故障红外诊断系统的研究与实现[J].电力信息化,2013,11(02):36-39.
- [6] 杨立军,贾思宁,卜永东,等.电站间冷系统空冷散热器翅片管束流动传热性能的数值研究[J].中国电机工程学报,2012,32(32):50-57+9.DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.2012.32.012.