

电厂热控系统故障诊断数据采集与处理研究

裴 翔

国家能源集团内蒙古上海庙发电有限公司 内蒙古 上海庙镇 016200

【摘要】：电厂热控系统是保障发电机组安全稳定运行的核心支撑，其故障诊断的准确性与时效性直接关联电厂生产效率与运行安全。数据采集与处理是故障诊断的基础环节，其质量决定诊断结果可靠性。本文针对电厂热控系统故障诊断的数据采集与处理关键技术展开研究，分析数据采集需求与数据特征，探讨采集技术与优化策略，解决同步性、完整性问题，研究数据预处理与特征提取技术，总结技术应用要点。研究成果可为提升故障诊断水平提供技术支撑，保障发电机组安全经济运行。

【关键词】：电厂热控系统；故障诊断；数据采集；数据处理

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.043

引言

电力工业快速发展，发电机组向高参数、大容量演进，电厂热控系统结构日趋复杂，运行状态对电厂整体稳定性影响显著。系统故障易引发机组降负荷甚至停机，造成重大经济损失。故障诊断是排查隐患的关键，数据采集与处理作为诊断前提，直接影响诊断精度与效率。当前系统运行数据多源异构、噪声干扰大，传统方法难以满足精准诊断需求。开展相关技术研究，优化流程、提升数据质量，对保障电厂安全高效运行意义重大。本文围绕核心环节展开探讨，提供理论参考。

1 电厂热控系统故障诊断数据采集需求分析

1.1 热控系统故障诊断核心数据类型

电厂热控系统涵盖温度控制、压力控制、流量控制、液位控制等多个子系统，不同子系统的故障表现存在差异，所需采集的诊断数据类型也有所不同。从故障诊断需求出发，核心采集数据可分为过程参数数据、设备状态数据与控制信号数据三大类。过程参数数据是热控系统运行状态的直接反映，包括各关键节点的温度、压力、流量、液位等物理量数据，这类数据能够直观体现系统运行的稳定性，是判断系统是否存在异常的基础依据。设备状态数据主要针对热控系统中的核心执行机构与检测元件，如传感器、执行器、控制器等设备的运行状态数据，包括设备的供电状态、输出信号稳定性、机械动作响应情况等，此类数据可帮助定位故障发生的具体设备。控制信号数据包括控制器的输入输出信号、阀门开度控制信号、PID 调节参数等，这类数据能够反映控制逻辑的执行情况，为诊断控制回路故障提供关键支撑。

1.2 数据采集的核心要求

为保障故障诊断的准确性，热控系统故障诊断数据采集需满足完整性、同步性、实时性与可靠性四大核心要求。完整性要求采集系统全面捕获热控系统各关键环节的运行数据，避免因数据缺失导致故障特征遗漏，对于潜在的隐性故障，完整的数据采集更是发现其早期特征的关键。同步性要求不同来源、不同类型的采集数据实现时间同步，热控系统各子系统耦合紧密，故障发生时常引发多参数连锁变化，同步数据可保障参数关联分析的准确性，助力精准定位故障根源。实时性要求数据采集系统快速捕获并传输运行数据，热控系统故障发展速度较快，及时的数据分析是避免故障扩大的关键，采集系统需具备高效的数据捕获与传输能力，满足故障诊断的实时性需求。可靠性要求采集系统在电厂复杂运行环境中稳定工作，抵御电磁干扰、温度波动等外界因素影响，确保采集数据真实稳定，避免因设备故障或数据失真造成误诊^[1]。

2 电厂热控系统故障诊断数据采集关键技术

2.1 多源数据采集架构设计

针对电厂热控系统多源异构数据的采集需求，需构建分层式多源数据采集架构，实现不同类型数据的高效整合采集。该架构主要分为感知层、传输层与汇聚层三个核心层次。感知层作为数据采集的前端，负责各类数据的捕获，通过部署不同类型的采集设备实现全维度数据采集：针对过程参数数据，采用高精度智能传感器实现温度、压力等物理量的实时采集；针对设备状态数据，通过在核心设备上安装状态监测模块，捕获设备的运行状态信号；针对控制信号数据，通过接入热控系统的DCS（分布式控制系统），直接采集控制回路的输入输出信号。

传输层负责将感知层采集到的数据传输至汇聚层，根据数据传输需求的不同，采用有线传输与无线传输相结合的方式：对于实时性要求高、数据量大的控制信号数据与过程参数数据，采用工业以太网、Profibus 等有线传输方式，确保传输的稳定性与实时性；对于设备状态数据等实时性要求相对较低的数据，可采用 LoRa、5G 等无线传输方式，降低布线成本，提高采集系统的灵活性。汇聚层负责对各传输通道的数据进行汇总、格式标准化处理，通过数据网关实现不同协议数据的转换，将异构数据统一转换为标准格式，为后续数据处理环节提供统一的数据输入。

2.2 采集同步与抗干扰技术

数据同步是保障多源数据关联性分析的关键，针对热控系统数据采集的同步需求，采用硬件同步与软件同步相结合的同步策略。硬件同步通过在采集设备中集成 GPS 同步模块或时钟同步芯片，实现各采集节点的时钟统一，确保不同采集设备在同一时间截下进行数据采集，从硬件层面保障数据的时间一致性。软件同步则通过数据校准算法，对采集数据的时间截进行二次修正，针对传输过程中因延迟导致的同步偏差，采用时间截补偿算法消除偏差，进一步提升数据同步精度。

电厂运行环境中存在大量的电磁干扰，易导致采集数据失真，因此需采用针对性的抗干扰技术提升采集数据的可靠性。在硬件设计层面，采集设备采用屏蔽外壳设计，减少外界电磁信号的干扰；传感器与采集模块之间采用屏蔽电缆连接，并合理布置电缆走向，避免与强电电缆并行敷设，降低电磁耦合干扰。在信号处理层面，对采集到的原始信号进行滤波处理，采用数字滤波与模拟滤波相结合的方式：模拟滤波通过 RC 滤波电路消除高频干扰信号；数字滤波采用中值滤波、卡尔曼滤波等算法，进一步滤除信号中的噪声干扰，提升数据的平滑性与真实性。

2.3 采集系统冗余设计

为保障数据采集的连续性，避免因采集设备故障导致数据中断，需对采集系统进行冗余设计。采用主备采集设备冗余配置模式，针对关键数据采集节点，同时部署主采集设备与备用采集设备，正常运行状态下由主设备承担数据采集任务，备用设备处于待机状态并实时监测主设备的运行状态。当主设备出现故障时，备用设备通过故障检测机制快速响应，自动切换为工作状态，确保数据采集工作不中断。

3 电厂热控系统故障诊断数据处理关键技术

3.1 数据预处理技术

原始采集数据中存在缺失值、异常值与噪声干扰等问题，直接影响故障诊断的精度，因此数据预处理是数据处理流程的核心环节，主要包括数据清洗、数据集成与数据标准化三个关键步骤。数据清洗的核心目标是消除原始数据中的异常数据与

缺失数据，针对数据缺失问题，根据数据缺失类型的不同采用相应的补全策略：对于随机缺失的数据，采用均值填充、中位数填充等方法进行补全；对于连续缺失的数据，采用趋势外推法或基于相邻数据的插值法进行补全，确保数据的完整性。针对异常值问题，采用统计分析与阈值判断相结合的方法进行识别，通过计算数据的均值、标准差等统计参数，设定合理的异常值判断阈值，结合热控系统的运行规律，剔除超出合理运行范围的异常数据；对于因传感器故障导致的系统性异常数据，需标记故障传感器并采用备用传感器数据替代^[2]。

数据集成旨在将多源异构的采集数据进行整合，形成统一的数据集。由于不同采集设备的输出数据格式、单位存在差异，需通过数据格式转换将各类数据统一为标准格式，同时进行单位标准化处理，确保数据的一致性。在数据集成过程中，需建立数据关联规则，根据时间戳与设备编号等关键信息，将不同来源的相关数据进行关联整合，形成能够全面反映热控系统运行状态的数据集。数据标准化的核心目的是消除不同维度数据之间的量纲差异，避免因数据量级差异导致诊断模型权重分配失衡。常用的标准化方法包括 min-max 标准化与 z-score 标准化，可根据数据分布特征选择合适的标准化方法，将数据映射至统一的数值区间，为后续特征提取与诊断模型构建奠定基础。

3.2 故障特征提取技术

原始采集数据维度较高、冗余信息较多，直接用于故障诊断会增加模型的计算复杂度，降低诊断效率，因此需通过特征提取技术挖掘数据中的故障敏感特征，实现数据降维与价值提升。热控系统故障特征提取需结合系统的运行特性，针对不同类型的故障，提取能够准确反映故障本质的特征参数。常用的特征提取方法可分为时域特征提取与频域特征提取两大类。

时域特征提取主要针对数据的时间域分布特性，提取的特征参数包括均值、方差、峰值、峰值因子、峭度、波形因子等统计参数。这类特征能够直观反映数据的整体分布情况与波动特性，对于识别诸如传感器漂移、执行器卡涩等慢变故障具有良好的效果。频域特征提取则通过傅里叶变换、小波变换等方法将时域数据转换至频域，提取数据的频率分布特征，如频谱峰值、频率重心、频带能量等参数。这类特征能够有效捕捉数据中的周期性波动与高频异常信号，对于诊断控制回路振荡、设备机械故障等具有显著优势。

针对热控系统故障的复杂性，单一特征提取方法往往难以全面捕捉故障特征，因此需采用时域-频域融合的特征提取策略，结合两类特征的优势，构建多维度的故障特征向量，提升故障特征的辨识度。为进一步优化特征向量，需采用特征选择技术剔除冗余特征，通过计算特征的信息增益、相关性系数等指标，筛选出对故障诊断贡献度高的特征参数，降低模型计算

复杂度的同时提升诊断精度。

3.3 数据处理流程优化

为提升数据处理的效率与质量，需构建标准化的热控系统故障诊断数据处理流程，并针对关键环节进行优化。优化后的处理流程主要包括数据接入、预处理、特征提取、特征优化与数据输出五个环节。在数据接入环节，采用分布式数据接入模式，实现多源数据的并行接入，提升数据接入效率。在预处理环节，引入自适应预处理算法，根据数据类型与质量自动选择合适的清洗、集成与标准化方法，提升预处理的针对性与效率。在特征提取环节，采用并行计算架构，实现多维度数据的同步特征提取，降低特征提取耗时。在特征优化环节，结合机器学习算法构建特征评价模型，自动筛选最优特征子集，提升特征向量的有效性。通过流程优化，实现数据处理各环节的高效衔接，提升整体处理效率，满足故障诊断的实时性需求。

4 数据采集与处理技术应用要点

4.1 采集与处理系统的适配性设计

电厂热控系统的类型、规模与运行特性存在差异，数据采集与处理系统的设计需具备良好的适配性，结合具体系统的故障诊断需求进行针对性设计。在数据采集层面，需根据热控系统的结构特点，明确关键数据采集节点，合理部署采集设备，避免采集节点冗余或缺失；针对不同参数的采集需求，选择合

适精度与响应速度的采集设备，确保采集数据能够满足诊断需求。在数据处理层面，需根据采集数据的特征选择合适的预处理与特征提取方法。

4.2 数据质量管控机制构建

数据质量是保障故障诊断准确性的核心，需建立全流程的数据质量管控机制，覆盖数据采集、传输、预处理、特征提取等各个环节。在采集环节，定期对采集设备进行校准与维护，确保设备的采集精度；建立采集数据实时监测机制，及时发现并处理数据失真、缺失等问题。在传输环节，对传输数据进行完整性校验，通过校验码验证数据传输过程中是否出现丢失或篡改，确保数据传输质量。在预处理与特征提取环节，建立数据质量评价指标体系，从完整性、准确性、一致性等维度对处理后的数据进行评价，对于不满足质量要求的数据重新进行处理，确保输出数据的质量^[3]。

5 结语

数据采集与处理是电厂热控系统故障诊断的核心基础，技术水平直接决定诊断精准度与时效性。本文针对相关技术展开研究，明确数据采集核心类型与要求，探讨多源数据采集架构、同步抗干扰等关键技术，分析数据预处理、特征提取等处理技术，提出适配性设计、质量管控等应用要点。优化采集处理流程、提升数据质量，可为故障诊断提供可靠支撑，有效提升诊断水平。

参考文献：

- [1] 刘鹏飞.电厂热控自动化系统中的数据采集与实时处理技术[J].电脑爱好者（普及版）（电子刊）,2022(7).
- [2] 邓天心.基于数据挖掘的火电厂热控故障诊断方法探讨[J].电脑校园,2024(9).
- [3] 王韬.发电厂热控系统智能诊断方法讨论[J].电子元器件与信息技术,2024(12):61-63.