

基于 MSET 技术的火电厂一次风机故障预测 与健康管理研究

郭又铭

江苏圣通电力新能源科技有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i2.7712

[摘要] 本文针对火电厂一次风机故障诊断复杂问题，将 MSET 技术引入到风机的故障预测与健康管理中。通过分析振动、温度、压力、电流和转速等特征参数，利用 SCADA 系统采集到实时与历史数据，构建历史记忆矩阵和状态评估模型，完成对风机运行状态的准确评估与故障早期预测。本文研究应用有利于火电厂运维人员提高风机运维效率、减少故障停机时间，提升了机组安全性。

[关键词] 火电厂，风机故障，健康管理，MSET

Research on fault prediction and health management of primary fan in thermal power plant based on MSET technology

Guo you ming

Jiangsu Shengtong Electric Power New Energy Technology Co., LTD

[Abstract] In view of the complex problem of fault diagnosis of primary fans in thermal power plants, this paper introduces MSET technology into the fault prediction and health management of fans. By analyzing characteristic parameters such as vibration, temperature, pressure, current and rotation speed, collecting real-time and historical data with SCADA data, constructing historical memory matrix and state evaluation model, and completing the accurate assessment of fan operating state and early prediction of failure. The research and application of this paper is conducive to the operation and maintenance personnel of thermal power plant to improve the fan operation and maintenance efficiency, reduce the fault downtime, and improve the unit safety.

[Key words] thermal power plant, fan failure, health management, MSET

引言

火电厂一次风机在整个电力的生产中占据着重要地位，风机稳定运行是保证电厂安全生产和实现良好经济效益的关键。在火电厂实际运行中，一旦风机出现问题，将会产生连锁反应，影响整个发电系统的正常运转。风机实际运行时，面临着诸多复杂的工况和潜在风险，风险类型较多，除了常规的故障外，还有各类供电系统的问题等，机械磨损是其常见的故障诱因之一，长期高速运转的风机部件，如轴承、叶轮等，在摩擦力作用下逐渐损耗，导致设备性能下降。电气故障也不容忽视，供电系统的不稳定、电机绕组短路或断路等问题，可能瞬间使风机停止工作^[1]。此外，运行工况的变化，如风道阻力的改变、负荷的频繁波动等，也会对风机的运行状态产生显著影响。

基于此背景，对风机进行有效的故障预测与健康管理迫在眉睫。传统的故障诊断方法一般采用运维人员定期巡检，通过运维人员的巡检，及时发现存在的问题，这种巡检方式一般产生于故障发生后，当风机出现明显故障后才进行维修，此方式具有很大的局限性，不仅维修成本高，而且会导致较长时间的停机，影响电厂的正常运行。

随着科技的不断发展，产生了越来越多的智能化诊断技术，通过对设备历史状态数据的采集、分析，根据当前运行参数，能够及时发现存在的潜在故障。本文引入 MSET (Multivariate State Estimation Technique) 技术，通过对一次风机运行历史数据和实时监测数据的深入分析，实现对风机故障的提前预测和精准的健康状态评估。通过建立历史记忆矩阵和状态评估模型，对比风机实际运行状态与正常状态的差异，及时发现潜在的故障隐患，为运维人员提供科学的决策依据，保障风机的可靠运行，提升火电厂整体的安全性和经济性。

1.MSET 技术

MSET 是一种非线性的多元预测诊断技术，其常用于设备诊断设备故障，通过分析对比实际监测参数与正常健康数据，对设备健康状态做出估计和诊断。MSET 一般应用于传感器校验、设备监测等领域。MSET 通过构建历史记忆矩阵 D ， D 包括了设备正常运行状态下所有特征值，且表示设备当前状态值与历史状态值之间关系。设 D 为 $n \times m$ 的矩阵，其中 n 为运行特征值， m 为 m 个时刻设备状态值， D 的行代表特征值，列为对应时刻， D 矩阵能够全面记录设备的状态， D 的表示如式 1 所示。

$$D_{n \times m} = [X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_m)]$$

$$= \begin{bmatrix} x_1(t_1) & \cdots & x_1(t_m) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n(t_1) & \cdots & x_n(t_m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & \cdots & D_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{n1} & \cdots & D_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

通过上式, 计算出风机状态评估值, 如式 2 所示:

$$X_{est} = D \cdot (D^T \otimes D)^{-1} \cdot (D^T \otimes X_{obs}) \quad (2)$$

式 2 中, X_{est} 为参数的估计向量, X_{obs} 为观测参数向量,

$\otimes$ 为两个向量之间的空间距离。

本文利用记忆矩阵 D , 分析风机实时观测数据与历史数据, 计算两者之间的偏差, 评估设备的健康状态。当风机出现故障时, 偏差会超出正常范围, 提醒运维人员及时进行检修和维护。

2. 风机健康状态特征选择

在对风机故障进行预测时, 首先要选择风机健康状态特征参数, 通过选择合适的参数, 来实现火电厂风机故障预测。本文选择的风机健康状态特征包括振动、温度、压力、电流和转速参数, 具体特征如下:

(1) 振动参数: 风机在运行过程中, 振动情况直接反映其机械部件的状态, 如轴承磨损、叶轮不平衡等故障, 均会导致振动异常。通过监测振动的幅值、频率等参数, 可及时发现风机的潜在故障^[3]。

(2) 温度参数: 风机的电机、轴承等部位的温度变化与其运行状况密切相关, 风机出现润滑不良、过载等情况时, 温度会升高。具体监测电机绕组温度、轴承温度等。

(3) 压力参数: 风机进出口的风压以及风道内的压力分布, 反映其工作效率和流道的通畅性, 若风道堵塞或风机性能下降, 压力参数会出现异常。

(4) 电流参数: 电流大小与风机的负载相关, 异常的电流波动可能意味着风机存在机械故障或电气问题。

(5) 转速参数: 风机转速直接影响风机的风量和风压输出, 如果出现转速不稳定, 可能会存在潜在的控制系統故障或机械传动部件故障。

3. 特征数据采集及状态记忆矩阵构建

3.1 特征数据采集

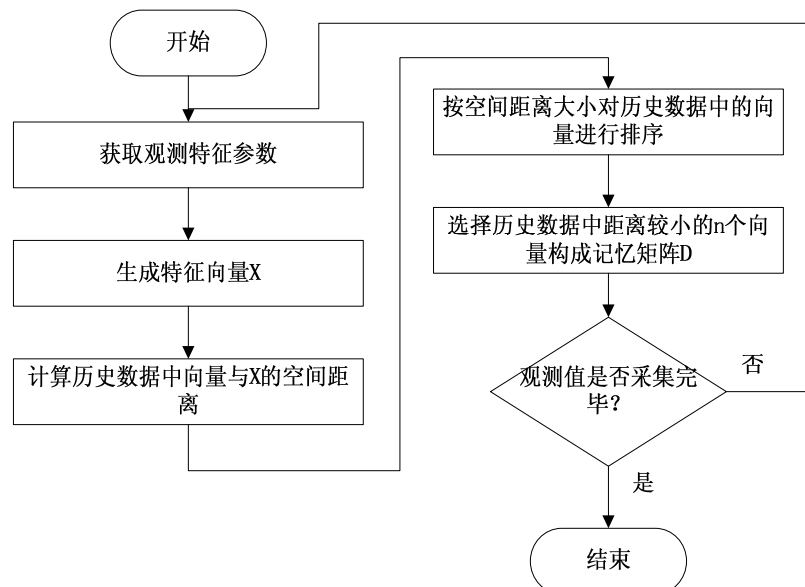


图1 状态记忆矩阵构建流程

火电厂已实施了 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 系统^[4], 本文能过火电厂的 SCADA 系统来完成数据采集。

SCADA 系统实时监控一次风机的运行状态, 安装在风机轴承、机壳等关键部位的振动传感器, 可实时振动幅值和频率数据传输至 SCADA 系统。在电机绕组、轴承等位置安装温度传感器, 用于监测温度并将其反馈给 SCADA 系统。压力传感器安装于风机进出口及风道内, 采集风压和压力分布数据, 数据实时上传至 SCADA 系统。电流互感器用于测量风机电机的电流, 采集到的电流数据也会被 SCADA 系统记录。同时, 通过转速测量装置获取风机的转速信息, 并传输至 SCADA 系统。

SCADA 系统按照预置的采样频率, 对特征数据进行采集, 形成风机运行数据仓库, 采集的数据包括实时数据, 还涵盖历史数据, 为后续基于 MSET 技术的分析提供了数据资源。

3.2 数据预处理

通过 SCADA 完成特征数据采集后, 为提高数据质量, 提高模型构建的准确性, 需对采集的数据进行预处理。

(1) 数据清洗, 除去采集 SCADA 数据中的错误值、重复值以及缺失值。对采集到的振动、温度、压力、电流和转速等数据进行逐一检查和处理。例如, 对于明显错误的传感器读数, 如超出合理范围值, 标记为异常数据。针对重复的数据, 删除重复信息。对于缺失值, 由数据分布特征和相邻数据关系, 采用合适的插值方法进行填补, 如均值插值、线性插值等, 以保证数据的完整性。

(2) 异常值剔除。计算每个特征参数的均值和标准差, 设定阈值范围 (如均值 ± 3 倍标准差), 如若超出此阈值范围, 则视为异常值, 需从数据集中剔除。从而消除了因传感器故障、测量误差或突发干扰等导致的异常。

(3) 归一化处理。对数据进行归一化。将特征数据转换到特定的区间 (如 $[0, 1]$), 消除不同特征之间量纲的影响, 使得各个特征在计算和分析中具有同等的重要性, 便于模型构建。

3.3 状态记忆矩阵构建

前面阐述了状态记忆矩阵, 同时对本文用于风机故障预测的特征数据进行了阐述, 本部分基于此, 详细阐述状态记忆矩阵的构建过程。图 1 为状态记忆矩阵构建流程。

对 SCADA 系统采集的风机振动、温度、压力、电流和转速等特征数据进行数据清洗。然后, 进行数据预处理操作。一方面, 对数据进行归一化或标准化处理, 将特征数据转换到特定的区间的统计分布特征, 消除不同特征之间量纲, 便于后续的计算和分析。同时采用滤波算法对数据进行平滑处理, 降低数据中的噪声干扰, 突出数据变化趋势。随后对处理后的数据提取特征, 依据风机运行与特征参数之间的关系, 选取风机健康状态的关键特征, 振动参数中的特定频率成分、温度变化率等, 形成特征向量。随后, 把这些选择的特征向量按照时间顺序进行排列组合, 构建历史记忆矩阵 D , 其中 D 的行用于表示特征参数, 列表示不同的采集时刻, 矩阵中的元素即为对应时刻的特征值。最后, 对构建完成的历史记忆矩阵 D 进行存储, 通过关系数据库对构建的矩阵 D 进行存储, 在进行数据存储时, 可通过按行优先方式进行存储, 然后按一般的数据存储在商业数据库平台上, 读取矩阵 D 时, 通过行列转换即可构建出 D 的行、列值关系。

4. 基于 MSET 的故障预测与健康管理体系

前面阐述了 MSET 技术以及数据特征, 本部分重点阐述实现的具体流程:

Step1: 历史记录矩阵 D 的构建。利用 SCADA, 采集风机的振动、温度、压力、电流和转速等特征参数, 这些每个特征参数作为矩阵元素。例如, 对于振动参数, 可能包括多个测点在不同时间的振动幅值和频率数据; 温度参数涵盖电机绕组、轴承等部位在各个时刻的温度值等。这些数据按照一定的顺序排列, 形成 $n \times m$ 的矩阵 D , 其中 n 为特征参数的数量, m 为采集时刻, 矩阵 D 能够全面反映一次风机在正常运行期间的各种状态信息。

Step2: 模型配置与初始化。选用 MSET 作为风机故障预测的模型, 确定计算风机状态评估值中的参数。观测参数向量 X_{obs} 由实时采集特征参数, 两个向量之间的空间距离 $\otimes$, 采用欧几里得距离, 其衡量实时数据与历史数据间的差异程度。同时, 对模型中的其他参数初始化。

Step3: 实时数据采集与预处理。在一次风机运行过程中, 通过 SCADA 系统按照预定采样频率采集实时的振动、温度、压力、电流和转速数据。对采集到的数据进行预处理操作, 如除去明显异常值、数据平滑处理等, 以减少噪声干扰, 对数据进行归一化或标准化处理, 使数据处于合适范围。

Step4: 风机状态评估与故障预测。将实时预处理后的观测参数向量 X_{obs} 代入 MSET 模型, 根据构建的矩阵 D , 计算风机当前的状态评估值。通过对比实时数据与评估值之间的偏差, 判断一次风机的健康状态。若偏差在设定的正常阈值范围内, 则认为风机运行正常; 若偏差超出阈值, 表示可能存在故障隐患, 触发预警信号, 提醒运维人员关注。根据偏差的变化趋势、大小及涉及的特征参数, 进一步预测可能发生的故障类型、严重程度以及大致的故障发生时间, 为及时采取维护措施提供依据。

Step5: 模型优化与更新。定期根据新采集的正常运行数据对状态矩阵进行更新, 重新构建历史记忆矩阵, 使模型能够适应风机性能的缓慢变化、工况调整以及设备老化等。同时, 根据故障预测准确性反馈, 对模型参数进行优化调整, 以提高模型的预测精度和可靠性。

5. 实验及应用效果

5.1 实验环境及配置参数

本实验包括硬件环境和软件环境, 具体如下:

(1) 硬件主要包括: 高性能服务器一台, 具备强大的计算能力和存储能力, 用于数据处理与模型运算, 提供应用服务的部署; 传感器若干, 包括安装在风机轴承、机壳等位置的振动传感器, 电机绕组、轴承处的温度传感器, 风机进出口及风道内的压力传感器, 用于测量风机电机电流的电流互感器和获取风机转速信息的转速测量装置。

(2) 软件环境方面, 本实验选择 MySQL, 存储风机运行历史数据和实时数据, 保证数据高效管理与快速检索; 采用 Python 开发相关程序, 其结合其丰富的数据处理和分析库, 如 Pandas、NumPy 等, 提供了强大的数据操作和计算功能, 便于进行数据清洗、预处理、特征提取以及模型构建和评估;

利用 Matplotlib 可视化库对实验结果进行直观展示。在模型参数配置上, 根据实际风机运行数据的特点和 MSET 技术的要求, 合理设置向量欧几里得距离空间距离计算方式、阈值等关键参数, 保证模型的准确性。

5.2 实验结果分析

基于上述实验环境, 对基于 MSET 技术的火电厂一次风机故障预测与健康管理体系进行了多方面评估, 实验结果如下:

(1) 准确性: 本文设计的风机故障诊断模型准确率达到 86% 以上。测试过程中, 对于多起如轴承磨损等常见故障, 系统提前发出预警, 对故障类型的预测较为准确, 表明 MSET 模型可以有效捕捉风机运行状态变化特征, 准确评估风机健康状态。

(2) 时效性: 风机故障发生前 2 小时内预警, 例如风机电机过热故障, 本模型提前 2 小时检测、分析出设备温度异常上升趋势, 为运维人员提供了充足时间进行检查和维护, 减少了故障停机时间, 保障了电厂的稳定运行。

(3) 特征参数贡献度: 振动和温度参数在故障早期识别中贡献较大, 多数故障发生时, 两个参数的偏差率先超出阈值。在特定故障中, 其他参数如风道堵塞时压力参数、电气故障时电流参数等, 也能诊断出故障, 实验结果表示, 在诊断过程, 需要综合参数, 为故障预测提供依据。

6. 结束语

本文研究火电厂一次风机故障预测与健康管理体系, 通过 SCADA 系统采集到风机的振动、温度、压力、电流和转速等特征参数, 利用 MSET 技术构建的历史记忆矩阵和状态评估模型, 通过对比偏差及时发现潜在故障隐患, 实现了对一次风机运行状态的准确评估和故障的早期预测。本模型优化与更新, 确保了系统能适应风机性能变化, 提高了预测的准确性和可靠性。

本文研究成果有助于火电厂运维人员提高风机运维效率, 减少风机故障停机时间, 提高机组运行的安全性和经济性, 为火电厂风机的智能化管理提供支持, 对推动电力行业设备管理技术的发展。

【参考文献】

- [1]李乐.基于机器学习的风电厂风机故障预警方法[J].自动化应用, 2024, 65(14): 183-185+188.
- [2]吴礼军, 任池银, 钱坤, 等.基于 MSET 算法的发电设备预警诊断增量学习方法研究[J].信息技术与信息化, 2024, (04): 178-182.
- [3]白海龙.火电厂一次风机振动故障分析及处理措施研究[J].应用能源技术, 2023, (07): 24-28.
- [4]俞秋霞.电力调度主站 SCADA 系统实时数据库模型设计[J].自动化应用, 2020, (12): 113-114.