

基于故障录波的火电厂电气故障诊断方法研究

张荣平

贵州西电电力股份有限公司黔北发电厂，贵州 毕节 551800

DOI:10.61369/ME.2026070036

摘 要： 随着火电机组容量的不断提高和电网并网标准的不断收紧，电厂电气系统结构越来越复杂，各种短路故障、设备异常、回路扰动发生的概率也越来越高。故障录波系统可以采集到电气故障发生全过程的波形数据、参数变化和时序信息，是电气故障溯源分析和精准诊断的主要载体。传统的人工故障诊断方法速度慢、精度不高，无法满足复杂故障的快速定位和精确分析的要求。本文主要针对故障录波数据应用逻辑进行梳理，对火电厂常见的电气故障类型进行分析，研究基于录波数据的精细化诊断方法，分析目前诊断工作中存在的技术问题，提出改善数据处理、研判流程、诊断体系的方法，提高火电厂电气故障诊断的准确性以及处置速度，保证机组和电网的安全稳定运行。

关 键 词： 火电厂；故障录波；电气故障；故障诊断

Research on Electrical Fault Diagnosis Method for Thermal Power Plants Based on Fault Recording

Zhang Rongping

Guizhou Xidian Electric Power Co., Ltd. Qianbei Power Plant, Bijie, Guizhou 551800

Abstract： With the continuous increase in the capacity of thermal power units and the tightening of grid integration standards, the structure of the electrical system in power plants has become increasingly complex, and the probability of various short-circuit faults, equipment abnormalities, and circuit disturbances has also increased. The fault recording system can collect waveform data, parameter changes, and timing information of the entire process of electrical faults, and is the main carrier for electrical fault traceability analysis and precise diagnosis. The traditional manual fault diagnosis method is slow and has low accuracy, which cannot meet the requirements of rapid location and precise analysis of complex faults. This paper mainly sorts out the application logic of fault recording data, analyzes the common electrical fault types in thermal power plants, studies the refined diagnosis method based on recording data, analyzes the technical problems existing in the current diagnosis work, and proposes methods to improve data processing, judgment process, and diagnosis system to improve the accuracy and handling speed of electrical fault diagnosis in thermal power plants, and ensure the safe and stable operation of the units and the grid.

Keywords： thermal power plant; fault recording; electrical fault; fault diagnosis

引言

火电厂电气设备长期处在高负荷、连续化、变工况运行状态，线路老化、设备磨损、工况波动、外力干扰等都会造成电气故障的发生。电气故障具有突发性强、传播速度快、影响范围广等特点，如果处理不当，很容易造成设备损坏、机组跳闸、电网波动等安全事故。故障录波装置可以24小时不间断地对系统电压电流波形、开关动作顺序、保护运行状况等进行全方位的记录，并且保存着从故障发生前到故障发生后全过程的数据。依靠故障录波数据进行故障诊断，可以做到准确找到故障、找出原因、判定责任、预测隐患。深入研究录波数据的诊断应用方法，改善故障分析处理流程，对于提高火电厂电气运维水平，防止重复故障发生，保证系统安全运行有着十分重要的意义。

一、火电厂故障录波系统运行机制与数据特征

（一）故障录波系统组成结构

火电厂故障录波系统是由前端采集装置、数据传输模块、后台分析平台、存储设备这四个部分组成的，各个模块之间互相配

合来完成数据采集上传、存储和分析。前端采集装置布置在配电室、机组出线、升压站等关键点位，对三相电压、三相电流、零序参数、开关量信号进行实时采集。数据传输模块依靠电厂专用通信网络将采集的数据安全地传送到后台。后台分析平台可对数据实施展示、回放、计算、标记，给运维人员提供可视化的分析

支撑。存储设备长期保存录波数据，用作历史故障溯源比对，为故障规律研究提供数据支撑。

（二）故障录波启动逻辑

故障录波系统可根据电气参数的异常情况自动触发录波，在正常工作状态下处于静默监测状态。触发条件分为模拟量越限与开关量变位两类：电压电流突变、频率偏移、谐波异常、零序参数异常均可触发录波；保护动作、断路器分合、回路信号变位也会触发记录。系统可保存故障发生瞬间的各类参数，完整记录故障发生前、故障发生后及故障切除后的全流程数据，实现对故障完整发展过程的记录。

（三）录波数据核心特征

故障录波数据时序完整、精度高、真实性强，是开展电气故障诊断的可靠依据。故障录波以微秒为单位开展采样，可捕捉瞬时、间歇、突发故障的细微参数变化，弥补普通监测系统精度不足的缺陷。波形与参数按照时间轴顺序排列，可完整呈现故障从萌芽到系统恢复的全过程。相关数据可自动生成，不受人为因素干扰，能够真实反映现场实际工况，不会出现人工操作引发的偏差与遗漏，可为故障诊断提供可靠支撑^[1]。

二、火电厂常见电气故障及录波波形特征

（一）线路短路故障

线路短路属于火电厂的高发电气故障，可分为三相短路、两相短路、单相接地短路，各种故障的录波波形特征差别较大。三相短路时，三相电流突然增大，三相电压同时快速下降，波形突变明显，故障期间电气参数变化平稳，切除后电气参数很快恢复到正常水平。两相短路只影响两相的电流和电压，非故障相的参数保持不变，波形对称性变坏。单相接地短路表现为故障相电压归零、电流骤增，零序电压和零序电流明显增大，非故障两相运行工况正常，可以通过录波参数快速判断短路类型。

（二）电气设备过载故障

发电机、变压器、高压电机等主要设备长时间处于超负荷工作状态，容易造成持续的过载故障，录波波形为平缓渐变，没有瞬时突变。故障发生时三相电流缓慢上升，电压略有下降，波形没有畸变，电流渐渐超过额定限值，录波一直越限。过载故障隐蔽性较强、人工识别难度大，依靠录波时序数据可以准确发现长期过载隐患，防止由于设备过热、绝缘老化加快造成的安全隐患。

（三）系统谐波扰动故障

火电厂大量变频、整流设备运行，容易引起系统谐波扰动，造成波形畸变、电能质量下降。谐波故障会造成电压电流的正弦波形出现毛刺、偏移、畸变等异常。录波数据可以准确地量出每次谐波的次数和幅值，找出超标的地方。轻度谐波扰动不会引起保护动作，设备没有明显的异常，但是长期的干扰会导致设备发热、绝缘老化、计量失准，可以通过录波畸变特征来判断故障、准确找到扰动源。

（四）开关与保护误动故障

断路器误分、保护装置误动、信号异常变位属于典型的二次

电气故障，可以利用录波时序数据来准确地进行追溯。这类故障发生时，系统电压、电流等模拟量波形没有异常，只有开关量通道出现瞬时变位信号。录波可以完整地记录保护启动、继电器动作、断路器分合的精确时序，采用时序比对可以区分出设备真实的故障和装置误动^[2]。此类故障大多是由瞬时干扰、设备故障、逻辑缺陷造成的，并且不会出现一次设备参数的异常情况，只需要通过录波数据就可以完成故障的研判以及原因的判定。

三、基于故障录波的核心电气故障诊断方法

（一）波形比对诊断法

波形比对诊断法属于故障诊断的基础手段，操作简单、适用范围较广，能迅速识别出故障的大致种类。运维人员调取故障时段的原始录波波形，与标准正常工况波形、典型故障波形做全方位对比，主要从波形形态、幅值大小、畸变程度、对称状态等几个方面进行对比。通过波形差异可以快速区分出短路故障、过载故障、谐波故障、扰动故障等基本类型，大致确定故障范围。同时还可以对比同设备历史故障波形，判断本次故障是否为新的隐患或者重复性的故障，给故障原因分析提供直观的依据，适用于各种常规电气故障的快速初步诊断。

（二）参数量化计算诊断法

参数量化计算诊断法依靠录波原始数据展开精确运算，达成故障精细化判定，改善诊断精确度。通过录波系统自带的运算功能，准确地求得故障瞬间的电流电压峰值、故障持续时间、阻抗参数、谐波畸变率、零序分量占比等量化指标。将计算结果同设备额定参数、行业标准阈值、系统保护定值相比较，准确地判定出故障的严重程度以及故障的性质。利用阻抗参数可以准确找到短路故障的部位，用谐波参数可以量化的得到电能质量的缺陷等级，使故障诊断由定性判断变为定量分析，大大提高故障诊断的专业性和准确性。

（三）时序逻辑推演诊断法

时序逻辑推演诊断法依靠录波数据的全部时序链来整理出故障的发展过程和动作逻辑，准确地判定出故障的起因以及责任方。录波数据可以完整地记录故障发生、保护动作、开关动作、故障切除、系统恢复的全过程时序信息。运维人员根据时间轴整理各个节点的动作顺序，看保护装置动作是否准确，断路器分合是否合理，故障发展是否符合常规逻辑。当出现保护拒动、越级跳闸、动作时序错乱等问题时，可以依靠时序比对迅速找出逻辑上的缺陷和设备上的隐患，准确地将设备故障、保护缺陷、系统干扰这些不同的原因区分开来，从而解决复杂故障无法溯源的问题^[3]。

四、当前故障录波诊断技术应用存在的问题

（一）录波数据利用率偏低

目前，大多数火电厂只对机组跳闸、重大故障进行录波数据分析，忽略了轻微扰动、参数波动、波形畸变等常态化的数据。大量隐性故障、早期隐患相关数据长期处于闲置状态，未开展常

态化数据分析与隐患预测工作。运维人员仅侧重故障处置，未从数据趋势分析、隐患排查维度开展研判，无法挖掘录波数据的潜在价值，也无法实现故障处置从事后响应向事前预防的转变。

（二）人工诊断效率与精度不足

目前，电厂故障诊断大多依靠人工读图、计算、比较来完成，整体分析效率低。复杂的故障数据维度多、波形繁杂，人工筛查容易出现漏检、误判，并且很大程度上依靠运维人员的专业经验。人员判定标准不一样，同类故障分析结果差别很大，缺少诊断规范性。对于瞬时、间歇、复合型故障，人工很难发现细微的波形变化，容易造成故障定性不准、溯源不清的现象。

（三）录波设备与系统存在缺陷

部分老旧电厂的录波装置老化、采样精度低，造成数据采集的完整性、准确性不能得到保证。全厂录波点位覆盖不全，分支回路、二次设备和辅助系统存在采集盲区，故障发生后容易造成数据缺失，不能完整地再现故障过程。后台系统功能简单，只能进行简单的波形查询展示，并没有智能研判、参数计算、趋势分析等智能诊断的功能，智能化水平低，难以满足精细化故障诊断的要求^[4]。

五、基于故障录波的电气故障诊断体系优化策略

（一）深化录波数据常态化应用

创建录波数据常态化分析机制，冲破只对重大故障进行分析的数据束缚，全方位发掘数据的应用价值。每天定时查看系统录波数据，对轻微的波形畸变、参数越限、瞬时扰动等隐性异常进行筛查，及时发现设备的早期隐患。每月、每季度对录波数据进行汇总分析，找出设备故障发生规律、参数变化趋势、隐患高发部位，形成数据分析报告。依靠长时间的数据积累来预估设备的老化趋向、系统的薄弱之处，有针对性地实施预控检修，从而达到故障提前预知、提前处理的目的，充分发挥录波数据的预警效能^[4]。

（二）推进智能诊断技术升级应用

升级改造故障录波后台智能分析系统，增加自动化、智能化诊断模块，减轻人工分析工作量，提高诊断准确性。具有自动故障识别、波形智能比对、参数自动计算、故障类型判定等主要功能，可以自己完成基础故障的判断。录入各种典型的故障波形数据库，实现对实时波形和样本波形的智能匹配，快速得出故障类型、故障点位、故障成因的参考结论。根据复杂的故障建立智能分析模型，用大数据算法实现多维度的数据联动分析，有效地解

决了人工诊断效率低、误差大、标准不统一等问题。

（三）完善录波设备全覆盖建设

对全厂电气系统进行全方位的检查和整改，优先更换老旧低效的录波采集装置，提高数据采样的频率和精度，保证微小参数变化可以被记录下来。补充分支回路、二次设备、辅助系统录波采集点位，消除数据采集盲区，保证任何位置发生电气故障都可以完整地保存波形数据。改善设备通信传输链路，消除数据延迟、丢失、错乱等状况，保证录波数据及时上送并完整保存，为故障准确诊断提供全方位可靠的数据支撑。

（四）构建标准化故障诊断流程

制定统一的录波故障诊断标准化作业流程，对故障分析步骤、判定标准、记录要求进行规范。对故障核实、波形调取、参数计算、类型判定、溯源分析、隐患预判、台账记录等全过程的操作进行明确，统一各类故障的研判标准和分析程度。常规故障要定性定量分析，复杂故障要开展多源数据联动研判，准确找到故障原因和设备隐患。建立故障分析复核制度，专人对分析结果进行审核，防止出现研判偏差，保证故障诊断工作标准化、规范化、专业化开展^[5]。

（五）强化运维人员专业技能培训

对运维人员进行录波故障诊断专项技能培训，提高运维人员的波形分析、数据计算、故障判断能力。组织人员学习各种电气故障的波形特征、诊断方法、参数计算逻辑，掌握智能录波系统操作技能。开展典型故障案例复盘培训，用真实的波形案例讲解故障研判思路和难点处理办法，积累实战分析经验，打造专业化的录波故障分析运维队伍。

六、结论

故障录波系统可以保存下火电厂电气故障全过程的波形和参数数据，是电气故障准确诊断、追因分析、隐患预估的关键技术手段。线路短路、设备过载、谐波扰动、保护误动等常见的电气故障都有各自的录波波形和参数特征，利用波形比对、参数计算、时序推演、多源联动的方法可以达到精细的故障诊断。目前，录波数据利用率低、人工诊断精度不高、设备系统不完善、流程不规范等问题，导致诊断工作难以充分发挥作用。通过深化数据应用、升级智能技术、优化设备配置、规范诊断流程、强化人员能力，可全方位优化电气故障诊断体系，提升电气故障的处置效率与预判能力，为火电厂电气系统的安全稳定运行提供有力保障。

参考文献

- [1] 闫承山，刘德坤，钱叶牛，等. 基于暂态录波型故障指示器的配电网故障事前管控应用研究 [J]. 电力设备管理，2022(2):48-50.
- [2] 范召典，孟庆超，张军，等. 基于故障录波图的电力系统故障特征分析 [J]. 光源与照明，2023(1):234-236.
- [3] 李伟，付小伟，冯波，等. 基于故障录波数据的变电站故障分析系统研究 [J]. 电气技术与经济，2024(4):148-150.
- [4] 刘超. 浅析火电厂电气设备常见故障及处理建议 [J]. 现代工业经济和信息化，2022，12(9):232-233.
- [5] 李鹤. 火电厂电气运行常见故障排除及安全管理策略 [J]. 电力设备管理，2024(20):101-103.