

[继电保护]

新一代智能变电站继电保护故障可视化分析

文/黄代雄 杨嘉玮 周伟
国网湖北送变电工程有限公司

新一代智能变电站继电保护故障可视化分析技术为电力系统的故障诊断和处理提供了强有力的支持。详细阐述新一代智能变电站中继电保护故障的类型与特征以及故障可视化分析的方法，并提出二次设备配置文件自检技术和互操作方法，强调这些技术在提高故障分析效率和准确性方面的重要作用，为电力系统的故障诊断和处理提供有力支持。

近年来随着信息技术和智能技术的迅猛发展，新一代智能变电站继电保护故障可视化分析技术应运而生，为电力系统的故障诊断和处理提供了强有力的支持。如图1所示。

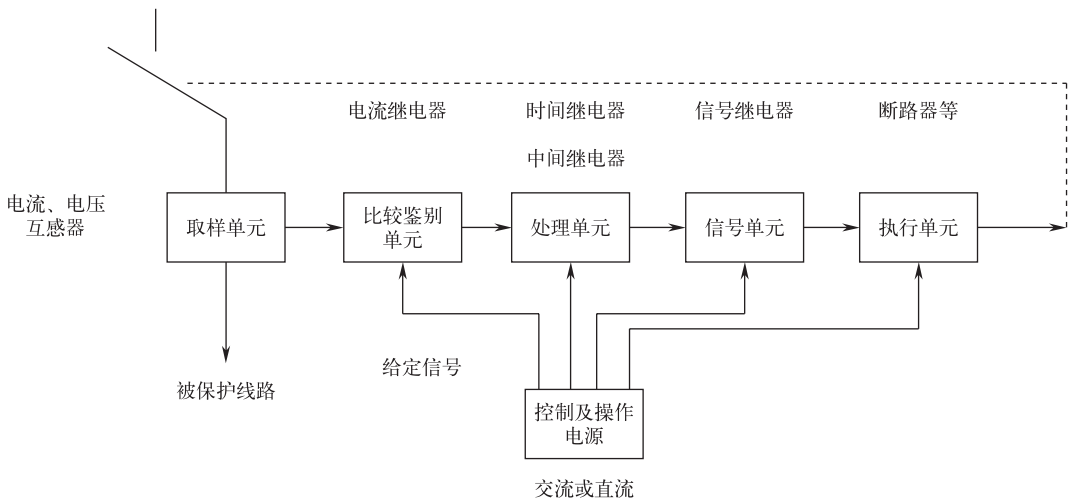


图1 继电保护装置

智能变电站继电保护概述

1. 继电保护的基本原理与功能

继电保护的基本原理是通过检测故障状态下电气参数的异常变化如过电流、电压异常、差动电流、阻抗变化和频率异常等快速识别故障并采取保护措施隔离故障区域以保护电力系统的完整性和稳定

性，主要功能包括故障检测与识别、故障定位、故障隔离、设备保护、系统稳定和自动化操作。智能变电站中的继电保护系统融合了先进的通信技术、数字化技术和自动化技术，具备数字化、集成化、自适应和远程监控与管理等特点，数字化保护设备提高了信号处理的精确性和响应速度，集成化功能

提升了系统的整体效率，自适应技术根据系统运行状态动态调整保护策略增强了保护的适应性和可靠性，而远程监控与管理则实现了集中控制和调度^[1]。传统变电站与智能变电站技术参数对比见表1。

表1 变电站技术参数对比

技术参数	传统变电站	智能变电站
信号处理精确性	较低 (受模拟信号影响)	高(数字化处理)
响应速度	较慢(需人工干预)	快(自动响应)
系统集成度	低(分散式系统)	高(集成化平台)
自适应调整能力	无	有 (根据运行状态调整)
远程监控与管理能力	受限(需现场操作)	强(远程集中控制)

2. 智能变电站中的继电保护技术

(1) 智能电子设备（IED）的应用

IED设备能够实时监测电力系统的运行状态包括电流、电压等关键参数并基于这些信息对潜在的故障进行快速识别和判断，一旦检测到异常情况，IED设备会立即启动保护动作如跳闸或隔离故障区域，以防止故障进一步扩散，并保护电力系统的安全稳定运行^[2]。IED设备的应用提高了继电保护的可靠性和灵活性，由于IED设备具有高度的可编程性和可配置性，技术人员可以根据电力系统的实际需求对保护逻辑和定值进行灵活设置和调整，这种灵活性不仅使得继电保护能够适应不同规模和类型的电力系统，还能够在电力系统发生变化时及时进行调整和优化确保保护的准确性和有效性^[3]。

(2) 配置文件的管理与校验

配置文件的管理主要涉及配置文件的生成、存储、版本控制以及权限管理等方面，在智能变电站中配置文件的生成通常基于电力系统的实际需求和设计，由专业的技术人员根据标准模板进行编制，生成的配置文件需要经过严格的审核和测试确保其准确性和可靠性。

在智能变电站中配置文件的校验通常包括语法校验、逻辑校验和一致性校验等方面，语法校验主要检查配置文件的格式和语法是否符合标准规范确保配置文件能够被正确地解析和执行，逻辑校验则主要检查配置文件中的逻辑连接和保护定值等关键信息是否合理和正确防止因逻辑错误或定值设置不当导致的保护误动或拒动。

新一代智能变电站继电保护故障类型与特征

在新一代智能变电站中继电保护故障的类型繁多且各具特征，这些故障不仅涉及硬件设备的损坏或异常还包括软件程序的错误、配置信息的错误以及通信网络的故障等多个方面，硬件故障方面主要包括电流互感器、电压互感器、断路器等关键设备的损坏或性能下降，这些故障可能导致保护动作不准确或无法及时响应，见表2。智能电子设备（IED）的硬件故障也可能导致数据采集和处理异常影响保护的准确判断，软件故障则主要表现为程序错误、算法缺陷或数据异常等，这些故障可能导致保护逻辑判断错误引发误动或拒动^[4]。

表2 硬件故障分析

硬件故障类型	故障描述	影响分析
电流互感器故障	测量不准确，准确度下降	保护动作不准确，可能导致误动或拒动
电压互感器故障	电压异常，波动大	影响保护逻辑判断，可能导致系统不稳定
断路器故障	无法正常开闭，响应延迟	故障隔离不及时，扩大故障范围
IED硬件故障	数据采集和处理异常	保护逻辑判断错误，影响系统安全

新一代智能变电站继电保护故障可视化分析

1. 变电站继电保护故障信息

随着智能电网技术的快速发展，新一代智能变电站对继电保护故障的分析和处理能力提出了更高要求，继电保护作为电力系统的关键组成部分其故障信息的准确获取和快速处理对于确保电网安全稳定运行至关重要。

(1) 故障信息采集

在智能变电站中继电保护故障信息的采集主要依赖于二次设备配置文件中的相关数据，这些配置文件包含了变电站内智能电子设备（IED）的通信参数、逻辑连接、保护定值等关键信息是故障分析的基础，新一代智能变电站通过先进的通信技术如 IEC 61850 文件传输协议和 103 通信协议实现了对二次设备配置文件的实时召唤和准确采集，为继电保护故障信息的快速处理提供了有力支持。

(2) 故障信息可视化

为提高故障分析的效率和准确性，新一代智能变电站采用故障信息可视化技术，该技术通过将复杂的故障信息以图形化的方式展现出来，使得技术

人员能够直观地了解故障情况，快速定位故障点从而采取有效的处理措施，可视化技术不仅提高故障分析的直观性和易用性，还降低技术人员的工作强度和学习成本。新一代智能变电站采用了多种可视化手段如配置文件差异比对可视化、故障数据文本展示等，其中配置文件差异比对可视化技术通过对比不同版本的配置文件以图形化的方式展示出差异点帮助技术人员快速识别故障原因，故障数据文本展示则通过简洁明了的文本形式展示出故障数据的详细信息，便于技术人员进行深入分析^[5]。

(3) 基于配置文件的故障分析

在新一代智能变电站中基于配置文件的故障分析成为一种重要的故障分析方法，该方法通过分析二次设备配置文件中的关键参数和配置项，结合故障信息对故障原因进行深入分析，通过分析配置文件中的保护定值、逻辑连接等信息，技术人员可以判断故障是否由配置错误引起从而采取相应的处理措施。新一代智能变电站还采用了先进的校验算法和自动化检测技术对配置文件进行格式校验、逻辑校验和一致性校验确保配置文件的正确性和可靠性，这些校验算法和检测技术不仅提高故障分析的准确性，还为故障的快速处理提供有力支持。

2. 二次设备配置文件自检技术研究

虚端子是二次设备配置中的重要组成部分，其正确性直接关系到设备的运行安全，下文提出了虚端子检查的流程和方法，包括虚端子的命名规则校验、连接关系的逻辑一致性检查以及与实际设备端子的对应关系核对，通过这些检查可以有效避免虚端子配置错误导致的设备故障^[6]。如图2所示。

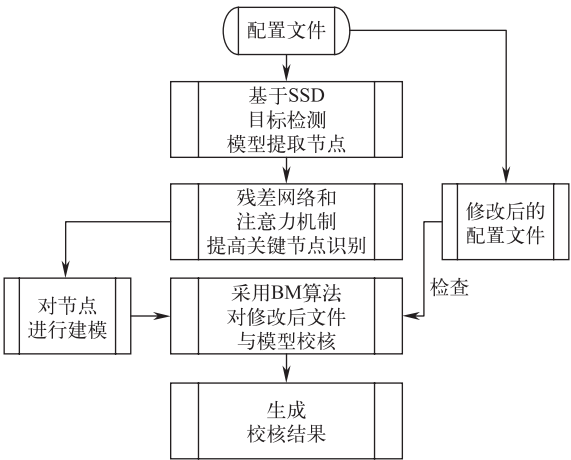


图2 配置文件

二次设备配置文件自检技术的研究主要围绕关键节点建模、格式自查方法和虚端子检查三个方面展开，关键节点建模是配置文件自检的基础，通过对配置文件中的关键节点进行建模可以实现对配置文件的深入理解和分析，这些关键节点通常包括通信参数、逻辑连接、保护定值等关键信息，它们的正确配置是确保变电站自动化系统正常工作的基础，建模过程中采用先进的算法如SSD算法和残差网络相结合的方法对配置文件的格式和节点进行深入建模，以有效地识别和分析配置文件中的各种元素和结构，SSD 计算公式为

$$S_k = S_{\min} + \frac{S_{\max} - S_{\min}}{m - 1} (k - 1), k \in [1, m] \tag{1}$$

式中， m 为特征层数； k 为特征层的序号； S_k 为第 k 层特征层中先验框为最小正方形的边框尺寸； $S_{\min}$ 和 $S_{\max}$ 为先验框边框的最低和最高尺寸。

格式自查方法通过对配置文件的格式进行自动化检查，可以及时发现并纠正格式错误，格式自查方法通常包括文件结构检查、参数命名规则检查等，在检查过程中运用BM算法对配置文件进行细致的配置比对确保配置文件的格式符合规范要求，通过格式自查可以大大提高配置文件的准确性和一致性，降低因格式错误导致的系统故障风险^[7]。

虚端子检查是配置文件自检的补充和完善，虚端子作为智能变电站中的重要组成部分，其配置的正确性对于整个变电站的安全稳定运行至关重要，虚端子检查主要通过对比配置文件中的虚端子连接信息与实际连接情况以发现并纠正虚端子配置错误，该过程中开发专门的可视化算法将配置文件的结构和内容以图形化的方式展现出来，使得差异点一目了然，从而提高虚端子检查的效率和准确性。如图3所示。

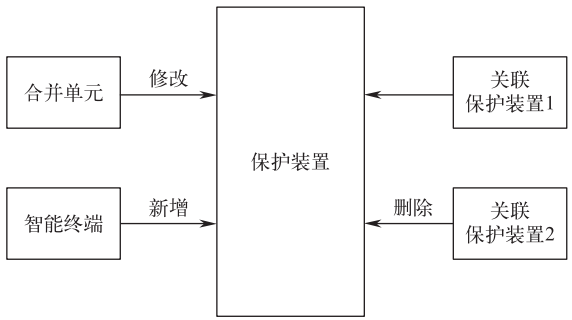


图3 连接情况

3. 互操作的方法

互操作指的是不同系统或设备之间通过数字信息的交换实现协调工作和共同目标的能力，在智能变电站的背景下互操作确保不同保护装置、监控系统和智能组件之间的无缝通信和协同工作，这对于故障的快速定位、分析和处理至关重要。智能变电站中的互操作方法主要依赖于标准化的数据格式、通信协议和接口技术，通过采用这些技术不同厂商的设备可以互相识别、交换数据并执行指令，例如当智能变电站中的一套保护装置检测到故障时它可以通过标准化的通信协议（如IEC 61850）将故障信息发送到监控主机或其他相关设备，这些设备在接收到故障信息后，可以立即进行分析、处理和报警从而实现故障的快速响应，IEC 61850文件传输技术应用二次设备配置文件召唤过程如下：

（1）获取二次设备配置文件记录概览

在此阶段客户端会启动ACSIGetServerDirectory服务（特别针对文件对象类型）以检索指定二次设备配置文件目录内所有文件的名称，通过ACSIGetFileAttributeValues服务，客户端能够进一步获取这些文件的相关属性信息，这一连串操作完成后客户端便能构建出一个详尽的二次设备配置文件记录概览，其中包含了所有文件的名称及其属性详情。

（2）筛选待召唤的二次设备配置文件记录

依据不同的操作模式筛选过程会有所不同，服务器主动通知模式与客户端定期巡检模式下客户端会将步骤一中获取的二次设备配置文件记录概览与文件仓库中已存在的配置文件记录进行对比，通过比对文件名称及属性客户端能够识别出那些尚未被召唤的新配置文件记录。操作员手动召唤模式下则由操作员直接介入，根据步骤一中生成的配置文件记录概览，手动挑选出需要召唤的二次设备配置文件记录^[8]。

（3）实际召唤二次设备配置文件

客户端利用ACSICetFile服务针对步骤二中筛选出的二次设备配置文件记录，向服务器发起请求以获取这些文件的完整内容，一旦文件成功传输至客户端它们会被妥善保存在文件仓库中，供后续使用或分析。如图4所示。

通过以上三个步骤，二次设备配置文件的召唤

流程得以高效、准确地完成，确保智能变电站中二次设备的配置信息得到及时更新与维护。

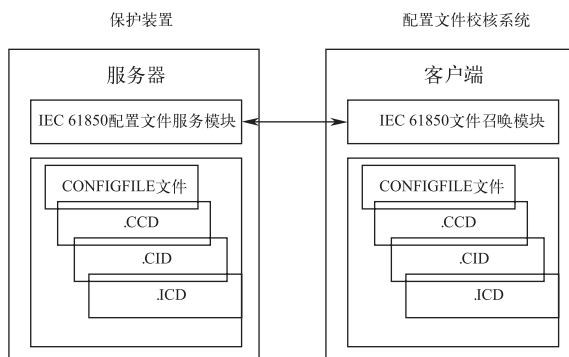


图4 配置文件

结束语

新一代智能变电站继电保护故障可视化分析技术通过先进的通信技术、配置文件管理和校验以及可视化展示等手段显著提高了故障分析的效率和准确性，为电力系统的安全稳定运行提供重要保障。EA

（收稿日期：2024-12-02）

参考文献

- [1] 王飞鹏，杨浩．新一代智能变电站继电保护故障可视化分析[J]．科技与创新，2024(21)：103-105．
- [2] 李萍．新一代智能变电站继电保护故障可视化分析[J]．通信电源技术，2019，36(12)：115-116．
- [3] 李科．关于新一代智能变电站继电保护故障可视化分析[J]．低碳世界，2019，9(1)：57-58．
- [4] 闫冉，任奎．新一代智能变电站继电保护故障可视化方案探究[J]．电子技术与软件工程，2018(21)：210．
- [5] 余洋．新一代智能变电站继电保护故障可视化分析方案[J]．工程建设与设计，2018(8)：95-96．
- [6] 邹晓峰．新一代智能变电站继电保护故障可视化方案研究[J]．通讯世界，2017(22)：189-190．
- [7] 许萍．新一代智能变电站继电保护故障可视化分析方案[J]．建材与装饰，2017(40)：196-197．
- [8] 王磊，潘岩．新一代智能变电站继电保护故障可视化分析方案[J]．科技风，2017(16)：193．