

发电厂二次回路继电保护抗干扰技术

张城硕

中国华电集团贵港发电有限公司 广西 贵港 537100

摘要：发电厂二次回路继电保护系统是电力设备安全运行的核心保障，复杂厂区电磁环境极易对回路信号造成干扰，引发采样失真、开关量误动、装置死机等故障，严重影响机组运行稳定性。本文结合电磁干扰基础理论，系统分析二次回路内外干扰来源及故障作用机理，从硬件防护、软件算法、施工运维三个层面制定综合抗干扰优化措施，并通过仿真验证方案效果，可为电厂继电保护抗干扰改造与常态化运维提供可靠技术依据。

关键词：发电厂；二次回路；继电保护；抗干扰技术

引言：随着发电厂机组自动化水平持续提升，二次回路继电保护系统的运行精度与稳定性直接决定电网整体安全水平。电厂高压设备操作、大功率设备启停及不规范施工运维会产生各类电磁干扰，持续侵扰二次弱电回路，导致保护误动、数据异常等隐患频发。为有效解决电磁干扰带来的运行问题，提升继电保护动作可靠性，本文全面剖析干扰成因与故障特征，针对性研究高效、适配的抗干扰技术与优化管控措施。

1 发电厂二次回路继电保护及干扰基础理论

1.1 二次回路与继电保护系统概述

(1) 二次回路的组成结构与工作原理：二次回路由测量、控制、信号、保护回路组成，依托电缆、端子、二次设备搭建闭环电路，通过采集一次设备运行参数，实现电能运行状态的监测与调控，是发电厂电力系统的辅助核心回路。(2) 继电保护装置的核心功能与运行机制：核心功能为故障监测、快速判障、跳闸保护与故障告警，装置依托采样元件实时采集电气量数据，通过内置算法对比定值参数，精准识别短路、过载等故障，自动触发保护动作。(3) 二次回路与继电保护的协同工作逻辑：二次回路为保护装置提供实时数据传输、动作信号传递通道，保护装置依托回路数据完成故障判断，反向驱动回路完成跳闸、告警操作，二者联动保障一次设备安全稳定运行。

1.2 电磁干扰基础理论

(1) 电磁干扰的产生机理与传播方式：发电厂高压设备、开关操作、雷击等会产生交变电磁场，形成干扰源，主要通过传导耦合、空间辐射、电感电容耦合三种方式传播，覆盖二次回路运行全场景。(2) 电磁兼容核心标准与技术要求：遵循电力行业电磁兼容规范，要求二次设备具备抗干扰能力，同时限制设备自身电磁辐射，保障各类二次设备在复杂电磁环境下互不干扰、稳

定运行。(3) 二次回路电磁干扰的耦合特性：二次回路电缆多为长距离敷设，极易与干扰源形成耦合通路，平行敷设、回路接地不良会加剧耦合效应，让干扰信号侵入回路内部，影响信号传输精度。

1.3 干扰对继电保护系统的影响机制

(1) 干扰导致模拟量信号失真的原理：电压、电流等模拟信号为连续微弱电信号，极易受电磁干扰影响。外界干扰会叠加在有效信号上，造成波形畸变、数值偏移、波动紊乱，导致保护装置采样数据失真，无法精准反映一次设备真实运行状态。(2) 干扰引发开关量信号误触发的机制：开关量信号为高低电平脉冲信号，电磁干扰产生的瞬时杂散电压，极易达到装置触发阈值，形成虚假动作信号。该干扰会误导保护系统判定设备故障，引发无故障误动、误告警等问题，影响机组安全稳定运行^[1]。(3) 强干扰下保护装置死机、程序异常的成因：高强度电磁干扰会侵入保护装置内部电路，扰乱芯片运算逻辑与数据存储，造成程序运算错乱、数据校验失败。极端干扰下会导致装置程序卡死、死机、重启异常，直接造成继电保护功能暂时失效，丧失故障防护能力。

2 发电厂二次回路继电保护干扰源及故障分析

2.1 内部干扰源分析

(1) 二次回路布线不规范引发的耦合干扰：发电厂二次回路电缆敷设密集，若强弱电电缆混敷、电缆平行距离过长、未按规范屏蔽分层布置，会形成电容与电感耦合通道。交变电场会在信号线缆上感应出杂散电压与电流，形成持续性耦合干扰，长期影响微弱模拟信号传输稳定性，是站内最常见的内部干扰诱因。(2) 保护装置内部元器件高频辐射干扰：继电保护装置、测控装置内部含有芯片、采样模块、变频元件等高频工作器件，设备运行过程中会持续产生高频脉冲信号与电磁辐射。当装置内部屏蔽结构老化、机柜密封不严时，高频辐射

会外泄侵入自身及周边二次回路,造成局部信号紊乱。

(3) 直流回路接地不良产生的电位差干扰:二次直流控制回路接地是系统稳定运行的基础,当接地电阻超标、接地断点、多点接地失衡时,系统各点位会产生不均衡电位差。电位差会形成杂散电流,叠加在控制与信号回路中,引发信号零点漂移、采样偏移等隐性故障。

2.2 外部干扰源分析

(1) 一次设备高压操作产生的浪涌干扰:发电厂断路器、隔离开关等高压一次设备分合闸操作时,会产生剧烈的瞬态电压浪涌与高频电弧干扰。该类干扰通过母线、线缆传导及空间辐射方式侵入二次回路,具备电压高、瞬时性强、冲击性大的特点,极易击穿端口防护器件,造成信号突变,诱发保护装置异常响应。(2) 厂区内大功率设备启停的电磁辐射干扰:风机、水泵、主变等大功率辅机设备启停瞬间,负荷电流急剧突变,会在周边空间形成强交变电磁辐射场。二次控制与信号回路多分布于厂内设备密集区域,易受辐射干扰影响,导致模拟量信号抖动、开关量信号紊乱,频繁引发装置数据异常与短时告警问题^[2]。(3) 无线设备、雷电感应引发的瞬时干扰:厂内对讲机、无线传输设备等射频装置工作时,会发射高频电磁波,对弱电回路形成辐射干扰。雷雨天气下,雷电感应会在架空线缆及厂内金属构架上产生瞬时感应高电压,通过耦合方式侵入二次回路,形成高强度瞬时干扰,极易造成保护装置死机、复位或误动作。

2.3 典型干扰故障案例与成因剖析

(1) 电磁干扰导致保护误跳闸案例分析:部分机组曾出现无实际故障情况下的线路保护误跳闸故障,经排查,故障原因为高压设备操作产生的浪涌干扰耦合至开关量回路,产生虚假动作电平,触发保护跳闸逻辑。该类故障不具备规律性,故障隐蔽性强,主要由外部瞬态干扰与二次回路屏蔽防护不足共同导致。(2) 信号干扰引发计量与保护数据异常案例:现场常出现电压、电流采样数据波动、计量偏差及保护采样异常等问题,核心诱因是二次布线混乱、屏蔽接地不规范引发的耦合干扰。干扰造成模拟量波形畸变,使保护运算依据失真,不仅影响电力计量精度,还会导致保护定值判别偏差,威胁系统安全运行。(3) 故障共性问题与核心诱因总结:综合各类干扰故障可知,二次回路继电保护干扰问题的共性诱因主要分为三类,一是施工运维不规范导致的系统抗干扰先天缺陷,二是设备老化、接地失效引发的内部干扰隐患,三是厂内复杂电磁环境带来的外部瞬时干扰。各类干扰最终均会破坏信号完整性,导致保护

系统判别失误、功能异常,是影响机组稳定运行的关键隐患。

3 二次回路继电保护抗干扰关键技术与优化措施

3.1 硬件抗干扰技术

(1) 规范二次回路布线与屏蔽接地技术:布线优化是硬件抗干扰的基础手段,施工中需严格区分强弱电回路,将信号电缆、控制电缆与高压动力电缆分层、分桥架敷设,杜绝混敷、近距离平行走线等问题,从源头降低电磁耦合干扰。同时,屏蔽电缆需全程保持屏蔽层完整无破损,两端规范接地,避免出现屏蔽层单点悬空、断线、搭接不良等情况,有效阻隔空间电磁辐射与传导干扰,保障微弱信号传输的稳定性。(2) 滤波、隔离器件的选型与安装应用:针对二次回路中的浪涌干扰、高频杂波、脉冲干扰,需合理匹配滤波与隔离器件。在保护装置模拟量、开关量输入端口加装专用滤波器、光电隔离器和浪涌吸收器件,精准滤除信号中的高频干扰分量。光电隔离器件可实现强弱电电气隔离,阻断干扰传导路径,避免高压干扰脉冲直接侵入保护装置核心模块,提升设备端口的抗冲击能力^[3]。(3) 等电位地网构建与接地系统优化技术:接地系统缺陷是引发电位差干扰的核心原因,需构建全站统一的等电位地网,消除不同设备、不同点位的接地电位差。优化二次回路单点接地方式,规范接地母线、接地引线的材质与截面,定期排查接地电阻,确保接地阻值符合电力标准。同时杜绝多点接地、虚接、氧化接触不良等隐患,稳定回路电位基准,彻底解决零点漂移、杂散电流干扰问题。

3.2 软件抗干扰技术

(1) 数字滤波算法优化与信号降噪处理:为解决电磁干扰导致的模拟量波形畸变、采样数据波动问题,需优化保护装置内置数字滤波程序,融合中值滤波、均值滤波、加权滤波等复合算法,对实时采集的电压、电流信号进行连续采样、筛选与平滑处理。通过剔除瞬时突变的异常采样点,保留真实有效的电气信号,有效抑制随机电磁干扰造成的数据失真,保证保护装置采样精度,为故障判别、定值计算提供可靠的数据支撑。(2) 保护程序容错设计与看门狗抗干扰机制:针对强电磁干扰引发的程序紊乱、数据出错、运行卡死等问题,在保护程序开发阶段加入多重容错设计,设置数据校验、异常判断、错误自动剔除功能,对异常数据进行屏蔽与复位处理。同时启用软硬件结合的看门狗监控机制,实时循环监测程序运行状态,一旦检测到程序死循环、运行超时、功能异常,可立即执行自动复位重启,快速恢复装置正常工作,避免保护装置长期失效。(3) 冗余逻辑

与三取二表决防误动技术：为有效规避干扰引发的保护误动、拒动风险，关键保护回路采用多通道冗余采集设计，对同一故障信号配置三路独立采样与判别逻辑。依托三取二表决机制对三组采集数据进行对比判定，摒弃单路干扰造成的异常信号，以多数有效信号作为保护动作依据，极大提升继电保护系统的抗干扰容错能力，保障复杂电磁环境下保护动作的准确性与可靠性^[4]。

3.3 施工与运维优化抗干扰措施

(1) 二次设备安装施工标准化管控：施工不规范是遗留干扰隐患的主要人为因素，需对二次设备安装、电缆敷设、接线接地等全过程实施标准化管控。严格执行电力施工工艺标准，规范线缆走向、弯曲半径、固定方式，杜绝电缆外皮破损、接线松动、线芯裸露、屏蔽层错接等问题。通过标准化施工统一工艺标准，从工程建设源头消除布线混乱、接地不规范带来的耦合干扰隐患。(2) 回路绝缘监测与定期抗干扰检测：建立常态化运维检测体系，定期对全厂二次回路开展绝缘电阻测试、接地性能检测、屏蔽完整性检查及电磁环境监测。重点排查电缆绝缘老化、受潮破损、接地电阻超标、屏蔽失效等隐性问题，及时掌握二次回路抗干扰性能变化趋势，实现干扰隐患的提前预判、及时整改，保障回路长期稳定运行^[5]。(3) 老旧二次回路改造与隐患治理方案：针对投运年限较长、设备老旧、工艺落后的二次系统，制定专项升级改造方案。全面更换屏蔽失效、绝缘老化的老旧电缆，升级性能落后的保护与抗干扰器件，重新规整杂乱布线，整改不规范接地点位，彻底消除老旧设备及工艺缺陷带来的持续性电磁干扰问题，全面提升老旧机组二次系统抗干扰能力。

3.4 抗干扰效果仿真与验证分析

(1) 仿真模型搭建与干扰环境模拟：依托专业电力仿真平台，搭建与现场实际工况一致的二次回路、继电保护设备及线缆布局模型，精准还原高压开关操作、大功率设备启停、雷电感应等典型干扰场景，模拟传导干扰、辐射干扰、耦合干扰的传播特性与作用强度，为各

类抗干扰技术的性能测试提供真实、可控的仿真试验环境。(2) 各类抗干扰技术的效果对比测试：在统一仿真干扰环境下，分别对单一硬件抗干扰、软件抗干扰、运维优化措施进行分组测试，量化对比不同技术对信号降噪、防误动、防死机的改善效果。同时测试多项技术联合应用的综合抗干扰性能，明确各类措施的优势、适用场景与短板，为方案优化提供数据支撑。(3) 优化方案的可行性与实用性验证：结合仿真测试数据，从安全性、经济性、现场适配性等维度对整体抗干扰优化方案进行综合验证，排查方案存在的漏洞与适配问题并迭代优化，确保方案能够适配发电厂复杂电磁环境，施工难度低、落地性强，可有效解决二次回路各类干扰故障，保障继电保护系统安全、稳定、精准运行。

结束语

本文全面分析了发电厂二次回路继电保护的各类电磁干扰源与故障危害，整合硬件屏蔽隔离、软件滤波容错、现场运维整改等多元化抗干扰技术手段，形成一套完整的优化治理方案。有效解决了电磁干扰引发的保护装置异常、信号失真等核心问题，大幅提升二次系统运行稳定性。后续需结合现场工况持续优化技术方案，落实常态化检测改造，进一步筑牢发电厂继电保护系统的安全运行屏障。

参考文献

- [1]张思帅.火力发电厂继电保护二次回路调试方法研究[J].能源新观察,2025,12(9):76-78.
- [2]龙森,邵财原.火力发电厂继电保护二次回路调试方法研究[J].电气技术与经济,2025,17(6):32-36.
- [3]费媛媛.关于火电厂继电保护二次回路隐患排查技术探究[J].内蒙古煤炭经济,2022,21(23):138-140.
- [4]赵楠.火电厂继电保护二次回路隐患及排查技术研究[J].今日自动化,2023,30(10):77-79.
- [5]汪锐,龚伟.继电保护电气二次回路隐患排查分析[J].数码精品世界,2024,26(11):368-371.