

# 特高压输电线路电流差动保护适应性研究

王龙 刘力 张雅童 张治欣

华能靖远热电有限公司 甘肃 白银 730919

**【摘要】**：特高压输电线路是现代电力系统的关键构成，运行稳定与可靠直接关系国家电网整体安全，输电电压等级持续提升，电流差动保护作为核心保护方式，适配性问题逐步暴露，文章立足特高压线路电流差动保护面临的技术难题，观察保护系统在不同运行条件与故障形态下的工作状态。围绕保护误动与失效等情况展开研究，梳理现有保护方案存在的不足及可优化路径，线路延伸与电流变化幅度增大，常规保护手段无法满足稳定工作与精准动作的要求，提升特高压输电线路电流差动保护适配能力具备重要现实意义。

**【关键词】**：特高压输电线路；电流差动保护；适应性；保护策略；故障模式

DOI:10.12417/3083-5526.26.02.042

## 引言

特高压输电技术快速发展，电力系统规模与复杂度显著提高，电流差动保护系统是电网安全的保障，在特高压线路中应用愈发关键，输电线路延长，电流变化特性不稳定，现有电流差动保护技术适配难题突出。复杂运行环境下维持保护系统高效稳定工作，是当前亟待破解的技术瓶颈，研究电流差动保护，明确其在高压长距离输电中的适配短板，可为优化电网保护机制、提升电力系统稳定性提供关键理论支撑。

## 1 特高压电流差动保护面临的问题

### 1.1 传统保护方法的适应性不足

特高压输电线路实际运行阶段，常规电流差动保护手段难以匹配工况的快速转变，电压等级升高与输电距离延伸后，常规保护应对复杂电流变化与大范围电网异常时，易出现动作偏差或功能失效<sup>[1]</sup>。该类保护多依靠电流比例与差动电流完成故障判定，特高压场景下电流信号易受多重因素干扰，电流采集精度有限、设备运行损耗、电网结构繁杂等问题均会影响判定效果，常规算法无法妥善处理此类干扰，整体适配能力偏弱，电流剧烈变化时，异常动作概率明显上升，保护系统难以精准定位故障区域，进而危及电网整体运行状态，增强常规电流差动保护的适配能力，是特高压线路保护技术发展需要攻克的重点问题。

### 1.2 故障模式对保护的影响

特高压输电线路故障类型多样，常见形式包含相间短路、单相接地、负荷超限等，各类故障发生后直接损伤电力设备，也会降低电流差动保护的工作可靠性，不同故障引发的电流变化规律存在明显差异，常规电流差动保护无法覆盖全部故障场景，部分接地故障与电网不对称故障中，保护系统难以完成故障点定位，出现动作滞后或误判动作。电网结构持续复杂后，

多处同步故障会加剧电流变化的无序性，常规保护难以完成故障类型区分，动作精度与运行稳定性均受到明显制约，探究各类故障下电流差动保护的适配方案，是保障电网安全平稳运行的核心环节。

### 1.3 电流波动对保护效果的挑战

电流波动存在于特高压输电线路全程，长距离输电场景下波动幅度与频率会给保护系统带来显著影响，电流波动既来自日常负荷调整，也与外部环境改变、设备异常等因素相关，特高压线路电流波动强度偏高，高负荷工况与电网扰动阶段，波动会在短时间内引发电流差动保护异常动作或故障判定失误，波动信号还会干扰保护系统正常工作流程，面对突发故障时无法快速作出响应。大波动电流环境下，保护系统的反应能力与运行稳定性会持续下降，高负荷与复杂工况下的保护可靠性难以保障，抑制大电流波动带来的干扰，维持保护系统稳定高效运行，是特高压线路电流差动保护需要优先解决的技术问题。

## 2 提升电流差动保护适应性的策略

### 2.1 优化保护算法

优化保护算法是提升电流差动保护适配能力的核心环节，常规保护算法应对特高压线路复杂工况时，易被干扰信号影响，引发系统误判或功能失效，提升保护系统精准度与稳定性，需依靠算法革新应对复杂电流波动与多样故障形态，自适应技术依据电网实时状态调节保护参数，规避负荷波动与系统不对称场景下误动作风险<sup>[2]</sup>。数字信号处理技术融入后，可精细解析电流信号的高频组分，区分故障与非故障状态，强化保护反应速度与运行稳定性，人工智能与机器学习技术应用于算法优化，成为发展趋势，系统通过学习历史数据识别潜在故障规律，辅助保护动作决策，算法迭代完善后，电流差动保护对特高压线路复杂环境的适配能力增强，电网运行安全与可靠水平提升。

## 2.2 采用先进的监测技术

应用先进监测技术是增强电流差动保护适配能力的重要支撑,传感器与通讯技术迭代升级,现代电力系统可实时采集电流、电压等多维信息,高精度传感器与智能监控设备拓展监测范围,捕捉电流动态变化与系统运行状态,快速识别异常信号,以监测技术优化推动故障诊断精准度提升,助力电流差动保护系统实时调整参数,降低外部干扰与设备状态变动引发的误动作概率。特高压线路传输距离远、电流波动显著,常规保护易受外部因素干扰,先进监测技术可精准捕捉电流瞬时变化,提前预警潜在故障,此举不仅提升保护系统响应灵敏度与诊断准确性,还实现电网运行状态全时段监控,增强电力系统整体稳定性与安全性。

## 2.3 加强故障诊断与定位能力

强化故障诊断与定位能力是提升电流差动保护适配能力的关键途径,特高压输电线路复杂性上升,故障类型快速识别与精准定位成为核心技术难题,故障发生时,电流差动保护系统通过信号差异识别故障存在,但明确故障类别与具体点位仍存在挑战,基于波形分析的诊断技术,通过监测电流波形变化特征,提取不同故障专属信号,提升故障识别精度。数字化故障录波器配合系统各环节实时监控与数据采集,依托数据分析快速锁定故障位置,上述技术协同应用,推动故障发生瞬间精准定位,缩减传统定位方法的误差范围,提高故障处理效率,故障诊断与定位能力完善后,电流差动保护系统响应速度显著提升,减少电网停运时长,保障电力系统稳定运行。

## 3 特高压电流差动保护技术的局限性

### 3.1 保护范围与响应速度问题

特高压电流差动保护中,保护范围与响应速度是两大亟待破解的关键难题,输电线路长度延伸、结构愈发复杂,常规电流差动保护系统难以覆盖电网所有潜在故障区域,保护系统依托电流信号差异定位故障,长距离输电场景下,信号传输延迟与外部干扰叠加,远端故障可能无法及时被识别<sup>[3]</sup>。响应速度同样面临考验,复杂故障发生时,传统保护手段无法在极短时间内完成判定,保护动作滞后易造成设备损毁、电网运行失稳,扩大保护覆盖范围、提升响应效率,让电流差动保护适配大规模复杂电网运行需求,是保障特高压输电线路安全运行的核心技术课题。

### 3.2 误动作与失效的根本原因

误动作与失效是电流差动保护的常见问题,在特高压系统中表现更为突出,电网受干扰、负荷剧烈波动时,保护系统易误判故障,引发不必要的停运与设备损坏,失效则体现为故障发生时保护系统未及时动作,导致故障扩大,威胁整个电网安全,核心原因在于保护系统依赖电流差异判定故障,部分场景下电流信号变化与预设故障模式不匹配。电网动态调整、负荷

大幅波动时,传统保护手段无法适配这类复杂变化,最终引发误动作或保护失效,解决该问题,关键在于精准分离电流信号中的故障成分,优化保护算法,适配各类复杂故障形态与电网动态变化。

### 3.3 高压环境下的误差放大

特高压输电线路的高压环境,给电流差动保护系统带来额外挑战,误差放大效应尤为明显,高压场景中,电流信号易受多种外部因素干扰,电磁波干扰、温度波动、设备老化等均会影响信号质量,这些干扰会在电流信号中引入杂波,导致差动保护系统判断出现偏差,电压等级持续提升,电流信号本身复杂度增加,波动幅度与频率进一步加大,信号采集与分析难度提升。误差被放大后,保护系统判定偏差增大,无法精准识别故障,长距离输电时,信号传输中的衰减与失真,进一步加剧这一问题,在高压环境下,如何抑制误差放大、提升电流差动保护的精准度与稳定性,是当前技术攻关的重点方向。

## 4 提高电流差动保护可靠性的措施

### 4.1 改进传输与控制系统

提高电流差动保护可靠性,改进传输与控制系统是核心环节,电流差动保护的核心工作是电流信号的采集、传输与分析,现有系统存在信号传输延迟、数据丢失或误传等问题,会延长保护系统响应时间,甚至引发误动作或功能失效,提升可靠性需优化信号传输路径,保障信号实时性与准确性,采用光纤通信、卫星传输等更先进的通讯技术,可有效降低传输干扰,确保长距离传输中电流信号的完整性<sup>[4]</sup>。优化控制系统算法,提升灵敏度并实时调整保护参数,增强其在复杂电网环境下的反应速度与判定精准度,强化传输与控制系统可靠性,能为电流差动保护提供坚实技术支撑,确保其在各类场景下均能快速精准响应。

### 4.2 增强设备的抗干扰能力

电流差动保护设备处于高压、大电流工况下,易受电磁干扰、机械振动、温度波动等因素影响,进而导致判断失误或响应滞后,增强设备抗干扰能力,是提升保护可靠性的必要举措,选用高质量屏蔽材料并优化抗干扰设计,可有效降低外部干扰对保护设备的影响,优化设备隔离性能,使其能在高压、大电流环境下稳定运行,同样可提升抗干扰水平。定期开展设备维护与检测,防止长期运行造成的损耗,进一步强化系统抗干扰能力,通过设计优化与抗干扰性能提升,既能增强电流差动保护的稳定性,也能延长设备使用寿命,保障电网安全运行。

### 4.3 加强多层次保护协同

提升电流差动保护可靠性,建立多层次保护协同机制不可或缺,电流差动保护作为主要保护手段,可靠性至关重要,但面对复杂电网与多样故障形态,单一保护方式难以全面覆盖各类问题,多层次保护可充分发挥各类保护手段的优势,形成互

补效应，可整合过流保护、差动保护、距离保护等多种措施，通过协同工作增强系统整体稳定性。故障发生时，多个保护系统相互验证，降低误动作与漏动作风险，保护系统间的协同配合，能快速锁定故障位置，加快系统恢复速度，构建完善的多层次保护体系，不仅能提升电流差动保护可靠性，还能有效增强电力系统的安全性与稳定性。

## 5 特高压电流差动保护的发展方向

### 5.1 智能化保护系统的应用

特高压电流差动保护正朝着智能化方向发展，以适配复杂电网的保护需求，人工智能、大数据与云计算技术持续进步，智能化保护系统已成为提升保护可靠性的核心方向，机器学习算法的应用，让智能保护系统可实时解析电流与电压波形，从海量电网运行数据中识别潜在故障规律<sup>[5]</sup>。系统能自适应调整保护策略，依据电网运行状态与外部环境，自动优化保护设置，规避误动作与漏动作，构建灵活精准的智能保护系统，既能提高特高压电流差动保护的响应效率，也能增强其在动态复杂场景下的可靠性，这种智能化保护方式，可根据实时数据变化快速决策，为电力系统提供更安全稳定的保障。

### 5.2 新型保护技术的融合

电力系统快速发展，传统保护技术已难以应对现代电网的复杂性，新型保护技术的融合，成为提升电流差动保护能力的关键路径，广域测量技术与保护系统相结合，可实现电网大范围实时监控与故障预测，提前排查潜在故障风险。基于分布式测量的保护系统，通过多点数据采集提升故障定位精度，降低

单一测量点失效带来的隐患，将区块链技术融入保护系统，能实现数据安全共享与互操作，增强系统在异构电网中的适配能力，将这些新兴技术与传统电流差动保护结合，可进一步提升保护的准确性、灵敏度与可靠性，推动电力系统向更智能高效的方向发展。

### 5.3 系统化的保护体系构建

构建系统化保护体系，是提升特高压电流差动保护整体可靠性的核心，现代电力系统的复杂性，决定了单一保护方式无法全面覆盖所有潜在故障形态，需依托多层次、全方位的保护网络保障电网安全稳定运行，系统化保护体系不仅包含电流差动保护，还需整合过流、距离等各类保护机制，实现故障全面检测与快速响应。体系需注重各保护层级的协调优化，确保不同保护方式无缝衔接，避免重复保护或保护失效，集成传感器、通信技术与数据分析工具，可实时监测电网运行状态，快速启动应急响应，这样的系统化保护体系，能让特高压电流差动保护在复杂动态的电网环境中更高效安全，故障发生时可快速恢复电网正常运行。

## 6 结语

特高压电流差动保护技术对电网安全保障意义重大，面对日趋复杂的电网环境仍存在诸多挑战，通过智能化系统应用、新型技术融合与系统化保护体系建设，其适应性与可靠性可得明显提升，未来保护技术将更趋精准高效，适配各类复杂故障场景，保障电网稳定运行，相关技术持续完善后，可为电力系统安全与可持续发展提供更可靠的支撑。

## 参考文献：

- [1] 李泽帅. 特高压输电线路绝缘子污秽在线监测方法[J]. 电工技术, 2025, (23): 281-283.
- [2] 李靖涛. 特高压输电线路大截面导线张力放线施工技术[J]. 应用能源技术, 2025, (10): 95-97.
- [3] 侯颖, 刘琳. 特高压输电线路在线监测系统通信网络的设计[J]. 上海电气技术, 2025, 18(03): 5-10.
- [4] 苏新永, 戴佳明, 王小伟, 等. 电流互感器饱和导致主变差动保护误动分析[J]. 数字通信世界, 2025, (08): 66-68.
- [5] 陶瑞基, 吴贝. 基于不同电流比的差动保护电流互感器配置方法研究[J]. 机电信息, 2025, (09): 24-28.