

电力系统及其自动化和继电保护的关系研究

丁 驰

湖南焕燃能源开发有限公司, 湖南 长沙 410100

[摘要]随着新型电力系统建设推进, 电力系统及其自动化主要负责电网稳态监测、运行调控与故障后自愈重构, 保障电网常态化高效运行; 继电保护承担电网暂态故障快速切除任务, 是自动化系统可靠运行的安全底线。两套系统共享采集、通信与控制硬件, 形成完整的电网运行管控闭环。当前电网运行中仍存在设备数据割裂、动作逻辑不匹配、保护自适应能力不足、数字化通信存在安全隐患等协同问题。本文系统梳理两大体系的职能边界、依存关系与技术融合特征, 分析自动化技术对继电保护迭代的驱动作用, 针对现存协同缺陷提出一体化改造、逻辑协同设计、自适应整定、网络防护升级等优化策略, 可为新能源电网二次系统安全运维与技术优化提供参考。

[关键词]电力系统及其自动化; 继电保护; 协同机制; 智能变电站; 新型电力系统

DOI: 10.64635/ja.2026.1286

中图分类号: TM76

文献标识码: A

Research on the Relationship Between Power Systems and Their Automation and Relay Protection

Ding Chi

Hunan Huanran Energy Development Co., Ltd., Changsha, Hunan 410100, China

Abstract: With the advancement of new power system construction, power systems and their automation are mainly responsible for steady-state grid monitoring, operation regulation, and post-fault self-healing reconstruction, thereby ensuring the efficient normal operation of the power grid. Relay protection undertakes the task of rapidly removing transient faults in the power grid and serves as the safety baseline for the reliable operation of automation systems. The two systems share data acquisition, communication, and control hardware, forming a complete closed-loop system for power grid operation and control. At present, grid operation still faces coordination problems such as fragmented equipment data, mismatched action logic, insufficient adaptive protection capability, and security risks in digital communication. This paper systematically reviews the functional boundaries, interdependence, and technical integration characteristics of the two systems, analyzes the driving role of automation technology in the iteration of relay protection, and proposes optimization strategies for existing coordination deficiencies, including integrated transformation, coordinated logic design, adaptive setting, and network protection upgrading. The study can provide a reference for the safe operation, maintenance, and technical optimization of secondary systems in new energy power grids.

Keywords: power systems and their automation; relay protection; coordination mechanism; smart substation; new power system

引言

在双碳战略实施背景下, 风电、光伏等分布式新能源大量接入配电网, 储能设备、柔性负荷、微电网广泛应用, 传统单向供电电网逐步转变为双向潮流、多源互动的复杂网络。电网运行方式频繁变化、故障类型更加多元, 对电网监测调控与故障应急处置能力提出更高要求。

电力系统及其自动化与继电保护共同构成电网二次

系统核心。自动化系统侧重于电网正常工况下的监测、调控、优化与故障恢复, 保障电网经济稳定运行; 继电保护专注故障瞬间快速隔离故障设备, 遏制事故扩大, 保障设备与系统安全。长期以来, 工程领域常将二者独立设计、运维, 导致系统协同性不足。随着智能变电站、数字化通信技术普及, 保护与自动化的设备、数据、功能边界逐渐融合, 一体化协同成为行业发展趋势。

现阶段大量老旧变电站存在保护与自动化设备独立组网、数据无法互通、定值固化、故障处置衔接不畅等问题,容易引发保护误动、越级跳闸、供电恢复缓慢等隐患,严重影响电网供电可靠性。基于此,本文深入研究电力系统自动化与继电保护的内在关联,剖析二者相互支撑、相互制约的运行机理,总结当前协同运行短板,并提出针对性优化方案,为新型电力系统二次系统协同运行、智能管控提供理论依据。

1 电力系统及其自动化与继电保护基础概念及职能界定

1.1 电力系统及其自动化核心内涵与功能

电力系统及其自动化融合传感技术、计算机技术、通信技术与自动控制技术,实现发电、输电、变电、配电、用电全过程智能化监测与管控,主要包含调度自动化、变电站综合自动化、配电自动化、用电信息采集自动化四大模块,是电网常态化运行管控的核心载体。

其核心功能覆盖电网全运行周期。正常工况下,系统实时采集电压、电流、功率、开关状态等运行数据,完成潮流计算、无功优化、负荷调控、远程遥控等操作,提升电网运行经济性与稳定性。在异常工况下,系统可识别电压越限、设备过载、温度异常等隐患,提前发出预警,实现预防性管控。故障发生后,系统接收保护动作信息,结合故障录波数据完成故障定位与分析,自动开展负荷转供、网络重构,快速恢复区域供电,大幅缩短停电时长。当前自动化系统普遍采用分层分布式架构,实现就地终端、站控平台、调度主站三级联动,为继电保护运行提供全面的数据支撑。

1.2 继电保护系统定义与基本性能要求

继电保护是电力系统重要的反事故自动装置,由互感器、保护测控装置、跳闸回路、通信单元等组成,覆盖线路、变压器、母线、发电机等一次设备保护。其核心任务是在电网发生短路、接地、过载、振荡等故障时,以最短时限、最小范围切除故障元件,防止故障扩散引发设备损毁、系统振荡乃至大面积停电,对轻微异常工况及时发出告警,辅助运维人员消缺。

继电保护运行必须满足四大核心性能指标。选择性要求仅切除故障设备,保证健全区域正常供电;速动性要求主保护毫秒级动作,快速隔离故障;灵敏性要求能够准确识别轻微故障,杜绝拒动现象;可靠性要求系统正常运行不误动、故障状态不拒动。按照运行范围可分为就地保护与广域保护,就地保护依托本地电气量独立判别,响应速

度快;广域保护依托自动化通信网络共享多点数据,适配新能源电网复杂运行工况。

1.3 二者职能边界与交叉领域

两套系统职能边界清晰且互为补充。电力系统自动化以稳态、准稳态调控为主,贯穿电网事前预警、事中监控、事后恢复全过程,侧重电网经济高效运行;继电保护聚焦暂态故障应急处置,属于极端工况下的安全防护屏障,侧重电网故障安全控制。

同时二者存在大量功能交叉重叠。硬件层面共享电压电流互感器、传感采集终端;通信层面共用光纤以太网与IEC61850统一协议;控制层面均可实现断路器分合控制;数据层面同步记录故障波形、动作时序,共同支撑故障分析工作。交叉融合区域是二次系统协同运行的关键,也是电网智能化改造的重点方向。

2 电力系统自动化与继电保护的内在依存关系

2.1 继电保护是自动化系统安全运行的基础保障

电力系统自动化所有调控、监测、自愈功能均建立在电网安全稳定的基础之上,继电保护为自动化系统正常工作提供核心安全保障。

首先,继电保护快速隔离故障,保障自动化调控有效性。电网发生短路故障时,短路电流会造成母线电压骤降、潮流剧烈畸变,导致自动化系统计算模型失效、调控功能瘫痪。继电保护依靠毫秒级跳闸动作切断故障源,快速恢复电网正常工况,为自动化系统重启调控工作创造条件。

其次,保护动作数据是自动化故障研判的核心依据。故障发生后,继电保护上传故障类型、故障电气量、动作时间、录波文件等暂态核心数据,自动化系统依托此类数据精准定位故障区域、分析故障成因,制定负荷转供与网络重构方案。若无保护暂态数据支撑,自动化系统仅依靠稳态数据无法完成精准故障研判。

最后,保护选择性动作降低电网自愈难度。继电保护精准隔离故障区段,最大程度保留健全电网结构,大幅减少自动化系统负荷转供与网络重构的工作量,有效缩短供电恢复时间。

2.2 自动化系统推动继电保护技术升级与性能优化

传统继电保护依赖固定定值、本地单一电气量判别,无法适配新能源电网动态运行工况。电力系统自动化的大数据、高速通信、远程管控技术,全面推动继电保护向数字化、自适应、广域智能化方向升级。

自动化系统可实时采集全网潮流、负荷变化、新能源出力、电网拓扑等动态数据,为自适应保护提供数据支撑,

实现保护定值在线修正，解决传统固定定值灵敏性不足、易误动的问题。高速光纤通信网络打破就地保护信息壁垒，依托 IEC61850 协议实现全站数据共享，支撑广域协同保护技术落地，有效解决单端保护存在的保护死区、双向潮流判别困难等问题。

此外，自动化远程运维平台可实现保护定值远程下发、设备在线巡检、故障信息集中管理，简化继电保护运维流程。大数据平台积累的海量故障样本，可优化智能保护算法，提升复杂故障识别准确率。

2.3 二者闭环协同运行机制

数字化智能变电站中，自动化系统与继电保护形成完整的数据协同闭环。首先，自动化传感终端实时采集全网稳态运行数据与拓扑信息，同步推送至各保护装置；正常运行时，保护装置仅上传监测数据，保持电网常态调控。故障发生后，保护装置快速判别故障并执行跳闸操作，同步上传故障报文与录波数据。自动化系统接收动作信号后，完成故障分析、区域研判，自动生成自愈重构方案，执行负荷转供恢复供电，并将故障数据反馈至保护系统，用于后续定值校验与算法优化。该闭环模式实现了常态调控与故障应急的无缝衔接，是智能电网稳定运行的核心机制。

3 电力系统自动化发展对继电保护的技术驱动

3.1 综合自动化架构实现保护测控一体化

传统变电站保护、测控设备相互独立，硬件冗余、接线复杂、故障率高、运维繁琐。变电站综合自动化分层分布式架构普及后，保护测控一体化终端全面推广，单台设备集成保护跳闸、遥测遥信、远程控制、故障录波多项功能，共用采样与通信回路，大幅简化二次接线，降低设备故障率，提升二次系统集成度与运行可靠性，实现了保护与测控功能的深度融合。

3.2 数字化通信标准革新保护信息交互模式

传统继电保护依靠模拟电缆、硬接点传输信号，传输速度慢、抗干扰能力弱、无法实现多点数据同步。自动化系统全面应用 IEC61850 数字化通信标准后，通过 SV、GOOSE、MMS 报文实现采样数据、跳闸信号、监控信息的网络化传输，取消大量二次硬接线，实现全站设备数据共享。统一的通信协议解决了不同厂家设备不兼容问题，为广域差动保护、协同保护等新型技术落地奠定基础。

3.3 新型自动化场景倒逼保护算法迭代

新能源并网、微网运行、柔性直流配电等新型自动化场景，彻底改变传统电网单向潮流、故障电流稳定的运行特征，导致传统过流、距离保护算法失效。自动化系统实

时监测新能源出力、储能状态、微网运行模式，积累海量新型工况数据，推动自适应保护、序分量保护、AI 智能故障识别等新技术发展。智能算法可精准区分新能源功率波动与真实故障，有效降低新能源电网保护误动、拒动概率。

4 二者协同运行现存问题

4.1 设备数据割裂，存在信息孤岛

大量传统老旧变电站未完成数字化改造，保护与自动化设备独立组网、独立运行，无统一数据交互通道。保护装置故障数据仅本地存储，无法上传自动化后台；自动化系统仅采集稳态数据，无法获取故障暂态信息。故障处置、定值校核、运行分析需要人工调取两套系统数据，工作效率低，且无法实现保护定值自适应在线调整，严重制约系统协同能力。

4.2 动作逻辑缺乏统一协同设计

部分变电站二次系统设计分割，自动化自愈逻辑与继电保护跳闸逻辑独立编制，时序配合、逻辑闭锁不完善。故障未完全隔离时，自动化提前启动负荷转供，易造成二次故障；自动化远程操作过程中未设置保护闭锁，易引发保护误跳闸，干扰电网正常调控，增加电网运行风险。

4.3 自适应定值更新机制滞后

现有自适应保护仅能获取局部运行数据，无法整合全网潮流、拓扑、新能源出力信息。调度自动化主站定值更新周期较长，面对新能源出力瞬时波动、电网运行方式频繁切换的工况，保护定值更新滞后，容易出现保护灵敏性不足或过度保护等问题，适配性较差。

4.4 数字化通信存在时延与安全隐患

共享通信网络同时承载自动化监控与保护跳闸报文，带宽分配不合理时，大数据监控信息占用通道资源，导致保护 GOOSE 报文传输时延超标，无法满足速动性要求。同时网络缺乏分区隔离与加密防护，存在报文干扰、数据篡改风险，易引发保护误动、监控失灵等安全问题。

5 提升二者协同运行能力的优化对策

5.1 推进二次系统数字化一体化改造

对传统变电站进行智能化升级，替换独立保护、测控设备为一体化智能终端，搭建基于 IEC61850 的统一光纤通信网络。按照功能划分网络分区，优先保障保护实时报文传输权限，建立统一数据中台，整合稳态调控数据与故障暂态数据，打通双向数据交互通道，彻底消除信息孤岛，实现保护与自动化数据实时共享。

5.2 统一设计协同动作逻辑与闭锁机制

在二次系统设计阶段，统筹编制保护跳闸与自动化自

愈控制逻辑,建立分层时序闭锁机制。明确故障处置优先级,保护完成故障隔离、确认故障消除后,自动化系统方可启动负荷转供与网络重构;自动化远程遥控操作时同步输出闭锁信号,杜绝保护误动作。同时通过仿真测试校验各类故障场景的动作时序,消除逻辑冲突隐患。

5.3 搭建全网自适应保护定值优化平台

依托调度自动化主站构建在线定值整定系统,实时汇集全网负荷、潮流、新能源出力、拓扑结构数据,建立动态整定模型,实现分钟级定值更新与远程下发。针对分布式配网增设并离网协同判别逻辑,根据微网运行状态动态调整保护定值,适配双向潮流运行工况,提升新能源电网保护适配性。

5.4 构建分层网络安全防护体系

对通信网络进行业务分区与 VLAN 隔离,为保护跳闸报文设置最高带宽优先级,保障传输时延符合标准。部署防火墙、加密装置与权限管控系统,隔离监控运维通道与保护控制通道,防范网络干扰与数据篡改。定期开展网络时延、误码率检测,保障协同通信稳定可靠。

5.5 依托大数据 AI 构建智能协同管控体系

利用自动化系统积累的海量运行、故障数据,搭建人工智能故障分析模型。系统可自动完成故障定位、溯源、保护动作评价,智能分析误动、拒动诱因,自动输出定值优化建议,形成“故障处置—数据分析—算法优化—定值更新”的闭环优化机制,推动二次系统向智能自愈方向发展。

6 结论

电力系统及其自动化与继电保护是电网二次系统不可分割的有机整体,二者相互依存、双向赋能、协同运行。继电保护为自动化稳态调控、电网自愈重构提供安全保障

与故障数据支撑,是电网故障安全屏障;电力系统自动化依靠通信、大数据、智能控制技术,推动继电保护突破传统技术局限,实现数字化、自适应、智能化升级。两套系统硬件共享、数据互通、功能互补,共同支撑电网全周期安全稳定运行。

当前老旧设备信息孤岛、动作逻辑不协同、定值自适应能力不足、通信安全薄弱等问题,制约了二者协同效能。通过实施二次系统一体化改造、统一协同动作逻辑、搭建动态整定平台、完善网络防护、引入智能数据分析技术,可有效提升系统协同运行能力。未来随着新型电力系统建设持续推进,保护测控调度一体化、广域智能协同、源网荷储自适应融合将成为核心发展方向,为电网安全、高效、智能运行提供坚实保障。

【参考文献】

- [1]张保会,尹项根.电力系统继电保护(第3版)[M].北京:中国电力出版社,2020.
 - [2]刘健.配电网自动化技术[M].北京:机械工业出版社,2021.
 - [3]国家能源局.智能变电站技术导则 DL/T 1873-2018[S].2018.
 - [4]王增平,马进.新型电力系统广域协同保护关键技术研究[J].电力系统自动化,2025,49(11):78-86.
 - [5]李刚.变电站综合自动化系统与继电保护协同配合问题分析[J].电气技术,2024(08):112-115.
 - [6]陈洁.高比例新能源配网自适应继电保护优化策略[J].电力工程技术,2025,44(02):93-99.
- 作者简介:丁驰(1995.08—),汉族,籍贯:江西九江人,学历:本科,职称:助理工程师,研究方向:电力系统及其自动化。