

Application Research on Protection and Control Technology of Secondary Power Systems

Yujun Jiao

China Power Construction Electric Power Maintenance Engineering Co., Ltd., Leshan, Sichuan, 611800, China

Abstract

The secondary power system is an important support for the safe operation of the power grid and undertakes the tasks of real-time monitoring, protection and control. With the expansion of the scale of new energy access and the increasing complexity of grid interconnection, traditional relay protection technologies are difficult to meet the requirements of real-time performance and intelligence. This paper analyzes typical applications such as differential protection, distance protection and longitudinal connection protection, explores the application value of smart substations, wide-area protection and synchronous phasor measurement technology, and proposes strategies such as strengthening intelligent construction, enhancing network security, promoting standardization and the integration of artificial intelligence to improve the safety and reliability of the power grid.

Keywords

Secondary power system; Relay protection; smart grid

电力二次系统保护与控制技术的应用研究

焦玉军

中电建电力检修工程有限公司, 中国·四川乐山 611800

摘要

电力二次系统是电网安全运行的重要支撑,承担着实时监测、保护和控制任务。随着新能源接入规模扩大与电网互联复杂度增加,传统继电保护技术难以满足实时性与智能化需求。本文分析差动保护、距离保护及纵联保护等典型应用,探讨智能变电站、广域保护与同步相量测量技术的应用价值,并提出加强智能化建设、提升网络安全、推进标准化和人工智能融合等策略,以提升电网安全性与可靠性。

关键词

电力二次系统; 继电保护; 智能电网

1 引言

电力系统作为国民经济运行的关键基础设施,其安全稳定运行关系重大。二次系统作为电网的“中枢神经”,承担监测、保护与控制任务,在新能源快速发展、特高压跨区输电以及分布式电源接入的背景下面临新挑战。2025年4月28日,西班牙、葡萄牙及法国南部部分地区发生大规模、大范围停电事件,是欧洲近几年发生的最严重的停电事件,暴露出的重大问题是高比例新能源电力系统的电压调节能力不足,致数以百万计的民众工作和生活受到影响,也引起大家的高度警觉。传统继电保护虽在防范事故、故障隔离中发挥了核心作用,但在智能化和广域协同方面存在不足。信息技术、人工智能与大数据的发展,为电力二次系统保护与控制技术的创新与应用提供了新机遇。

【作者简介】焦玉军(1970-),男,中国四川广元人,本科,高级工程师,从事电力生产管理研究。

2 电力二次系统保护与控制技术的基础概述

电力二次系统作为关键技术保障,助力一次系统实现安全、稳定且高效的运行,主要任务是借助监测、计量、通讯与控制方法,实时监控一次系统运行状况,当有故障或异常情况发生时立即采取应对措施,以此实现对电网的保护和调控,电力二次系统有继电保护、自动化控制、远动通信等子系统,并且包括调度、信息安全以及数据处理等部分,作为电力系统的“神经网络”和“大脑”存在。

如今数字化、网络化与智能化的阶段性发展,其组成涵盖了保护设备、监控体系、通信平台以及信息安全保障体系等方面,现代二次系统着重突出信息交互、联合管控与自我适配功能,为复杂电网,特别是新能源大规模并入电网运行下的安全稳定运行给予有力支撑。

3 电力二次系统保护技术的应用研究

3.1 差动保护技术

差动保护作为一种依据电流平衡准则的保护方式,在

变压器、发电机和输电线路等的防护方面有大量应用，通过对比保护范围内各进、出支路电流是否平衡来判定有无故障发生，若存在明显差值，认定区内有故障并即刻动作，现代差动保护借助数字化滤波、二次谐波制动、纵联通信等举措，极大增强了抗干扰性能与动作精准度。

3.2 距离保护技术

距离保护多应用于输电线路，该保护通过测定线路故障处的阻抗数值来确定故障点位置，鉴于其选择性佳且速度快，常作为高压输电线路主保护与后备保护的常用手段，因同步相量测量（PMU）和广域测量技术被引入，距离保护的准确性和稳定性得到进一步提升。

3.3 纵联保护技术

纵联保护作为一类保护装置，借助通信通道实现保护区段两端的信息互换，典型类型包含电流差动纵联、方向比较纵联等，此装置动作迅速且选择性佳，能有效解决长距离输电线路的复杂故障情况，特别是在特高压直流输电工程里具备重要应用价值。

4 电力二次系统保护与控制的提升策略

4.1 推进智能化与数字化发展

智能与数字化的电力二次系统发展是未来电网技术升级的主要趋向，智能变电站建设的持续推进，二次系统正逐渐从传统的“点对点接线”过渡到“网络化通信”，依托 IEC 61850 的数字通信协议，达成了设备彼此的数据互通与高效互操作，为继电保护及控制系统提供更为灵活、开放的支撑。

伴随智能化的发展，引入人工智能（AI）和大数据技术意义重大，借助对大量运行数据的挖掘和分析，可实现对电网运行状态的趋势预判、异常鉴定与辅助决策制定，借助机器学习算法构建历史故障波形的模型，可实现不同类型故障的快速判别；运用深度学习构建的预测模型可预先警示电网可能存在的薄弱之处，降低事故发生概率。

智能化体现之处，除了故障剖析与预判，还包括自适应控制策略的达成，常规继电保护常以固定数值作为依据，难以契合电力系统运行条件的频繁更迭，智能保护可依据电网运行状况的实时数据，自主调节保护设定值，达成动态适配，该特性在新能源出力波动、潮流变化大的现代电网中起着关键作用^[1]。

应用数字与虚拟技术，二次系统的运行及维护模式有了根本性的转变，借助搭建数字孪生电网，能够在虚拟环境里对保护策略开展仿真与优化工作，进而增强实际运行的可靠程度与经济效能，除了用于日常运行模拟，还能在突发状况下迅速生成最佳处理方案，助力调度人员作出决策。

开展智能化和数字化工作期间，存在不少难题，强大的计算与存储能力是实现海量数据采集和处理的必要条件，怎样达成高效的数据治理是迫切要解决的事项，算法透明度

欠佳的智能化系统，或引发“黑箱”决策隐患，设备之间协议有别、接口标准未统一，对智能系统的大规模应用形成阻碍，伴随智能化进程推进，需同步健全相关标准与规范，增强系统透明度与可操控性。

开展智能化和数字化进程，是电力二次系统应对未来难题的必要途径，借助集成人工智能、大数据、数字孪生等前沿技术，可有效增强继电保护与控制实时性、准确性和智能化方面的水平，为电网安全稳定运行提供有力支撑^[2]。

4.2 加强通信与网络安全防护

通信网络对电力二次系统运行的支撑作用日益凸显，数据传递与控制指令的可靠程度直接影响系统的安全稳定，伴随网络普及程度的提升，二次系统正面临着日趋严重的网络安全风险，恶意侵扰或许会使控制命令遭篡改，甚至造成大规模停电；网络堵塞或通信滞后或许对保护动作的及时性与可靠性产生影响。

保护与控制以通信系统的可靠性为基础，当代电力通信体系一般运用光纤通信、SDH/OTN、MPLS-TP 等多元技术，同时将卫星通信作为备用传输途径，以此达成数据传输的高可靠与低延迟，然而在复杂的电力网环境当中，单一通信途径依旧存在潜在的薄弱点，需促进具备多路径与多冗余特性的通信架构搭建，融合当下 5G 与未来 6G 技术，实现通信保障的低延迟、大带宽、高可靠特性。

二次系统受网络安全威胁的风险日益凸显，国际间已出现多起黑客侵袭电力系统的实例，引发重大经济损失与社会效应，电力二次系统需拥有完备的网络安全防护水平，目前广泛运用的策略是纵深防御体系，利用防火墙、入侵检测系统、身份认证、加密通信、访问控制等多层级手段来构筑安全壁垒，关键的继电保护通信信道需运用端到端加密手段，以防数据遭窃取或篡改；针对二次系统操作人员，应实施多因素认证与分级权限管控，防止人为失误操作或蓄意破坏^[3]。

安全防护不只是技术范畴的事，还涵盖制度与管理层面，发供电企业要健全完备的网络安全管理制度，包含安全稽核、风险评定、应急处置等机制，需周期性组织网络安全演练，增强运维人员处理突发网络攻击的能力，对于核心的二次系统而言，需设立专门的安全监控中心，实时解析通信数据与运行日志，及时找出并应对潜在危机。

伴随电力系统朝智能化深入发展，网络安全方面的挑战会变得越发棘手，网络安全领域同样能够运用人工智能与大数据技术，像借助异常流量筛查、智能入侵判别达成主动防护，作为保障二次系统通信安全的新途径，区块链技术进入视野，其分布式账本特点能有效杜绝数据被篡改，提高通信的可靠水平^[4]。

提升通信及网络安全防护力度，是维持电力二次系统稳定运行的必要需求，建设多路径通信框架、打造纵深防御体制、实施完备制度管控和应用新兴科技，能全方位增强二

次系统应对网络威胁的防御水平。

4.3 完善广域保护与协调控制

伴随电力系统规模持续拓展,单个局部保护设备难以处理跨地区复杂故障,广域保护及协调控制技术随之诞生,它借助广域测量系统,达成跨区域的整体态势察觉,以实施协调防护和动态安全调控。

广域保护的突出长处体现在它的整体性,传统保护设备依靠本地数据,易产生保护盲区或误判情况,广域保护可借助跨区域的同步相量数据,整体掌控电网动态运行态势,大电网出现连锁故障时,广域保护可迅速判明事故发展态势,预先实施分割、减负荷等管控手段,防止系统瘫痪^[9]。

广域保护发展期间,PMU合理布置十分关键,PMU能以毫秒级的精准度对电压、电流相量以及频率等信息开展测量,借助GPS达成全网同步,构建覆盖全国范围的PMU网络,可实时获取电网运行状态数据,为广域保护供给可信的数据依托,国家电网和南方电网两大电网均打造了较为健全的WAMS系统,为广域保护的推广运用打下基础。

应用过程中,广域保护与协调控制依旧存在挑战,庞大的数据规模,对通信带宽和处理能力要求极高,跨区域协调管控关联多个调度机构,信息互通和权限界定存在一定阻碍,广域保护控制策略繁复,若算法规划有误,或引发错误动作乃至系统失稳,后续要在算法改良、通信支撑、制度协同等层面不断完善。

后续发展方向是把广域保护和人工智能、大数据融合起来,达成更高层次的智能化成效,利用深度学习方法,可对海量相量数据开展即时分析,找出潜藏的风险模式;借助强化学习分析手段,可实现协调控制策略的优化,增强系统的自适应水平,伴随5G通信和边缘计算的普及,广域保护系统的数据传输及处理速度会显著加快,从而进一步提升它的实时性与可靠性。

改进广域防护与协同控制,是增强大电网安全与抗风险水平的关键办法,依靠加强PMU设置、改进通信与算法设计工作,同时融入人工智能及新兴通信技术,能打造更具智能性、高效性与可靠性的广域保护系统。

4.4 推动标准化与互操作性建设

伴随电力二次系统的发展,设备种类的多样化和厂商的差异化难以避免,会引发“信息孤岛”问题,损害系统整体效能与稳定性,开展标准化及互操作性构建,是提高二次系统保护与控制能力的基础工作。

实现互操作性需以标准化为基础,IEC 61850作为全球通用的电力通信规范,已在智能变电站的建设里被大量运用,此标准制定了统一的数据模板与通信业务,让不同厂商

设备可在同一平台开展信息交换,极大提升了系统兼容程度与灵活性能,基于IEC 61850,国内DL/T 634标准进一步细化,促进了该标准在中国电力系统的落实与应用。

互操作性打造不只是设备层面的契合,还包含系统层级的统筹,电力二次系统一般包含继电保护、自动化、调度、通信等诸多子系统,若无统一规范,子系统间的信息共享与协同运作会受限,依靠开展标准化构建,能达成系统间的无缝衔接,以此增强整体运行效能。

标准化在减少建设及运维成本方面意义重大,实行统一标准可削减因不同厂家接口不兼容造成的额外改造成本,并且使设备采购及维护程序得以简化,增强系统的可拓展性与持久可维护性。

伴随人工智能与大数据的融入,标准化和互操作性内涵会进一步拓展,针对智能防护与预测剖析范畴,需设定统一的数据接口标准与算法模型规范,从而保障不同系统之间算法能够迁移且结果具有可比性,伴随区块链、边缘计算等新兴技术于电力系统的探索性运用,需构建对应标准体系,防止技术零散化。

开展标准化和互操作性建设也面临些许阻力,各厂商处于竞争态势,不会彻底开放接口;标准的制定周期偏长,难以迅速契合技术发展步伐,需政府部门、行业协会和电力企业携手促成,汇聚标准化建设的整体力量。

5 结语

本章从四个方面提出了电力二次系统保护与控制技术的提升策略:推进智能化与数字化发展、加强通信与网络安全防护、完善广域保护与协调控制以及推动标准化与互操作性建设。四个策略相辅相成,共同构成了现代电力二次系统优化的整体框架。通过这些措施的落实,电力二次系统将在面对新能源接入、跨区输电与智能电网建设等复杂挑战时,展现更高的安全性、可靠性与智能化水平,为构建新型电力系统提供坚强支撑。

参考文献

- [1] 刘志彬. 新能源电力系统继电保护二次回路故障远程诊断方法[J]. 电气技术与经济, 2025, (04): 198-200+204.
- [2] 印海洋. 电力继电保护二次回路故障的检修策略分析[J]. 集成电路应用, 2025, 42(04): 356-357.
- [3] 郑恺. 基于数字技术的电力系统继电保护故障检测及二次侧安全措施探究[J]. 电工技术, 2024, (S2): 270-272.
- [4] 席义强. 继电保护二次安全措施的规范化管理策略分析[J]. 电工技术, 2024, (S2): 378-380+383.
- [5] 付成成, 李宏伟. 基于多源数据聚类的电力二次系统故障检测技术研究[J]. 城市建筑空间, 2024, 31(S2): 414-415.