

电力系统及其自动化技术的安全控制问题和对策

陈代荣 陈礼 黄开军

(国网湖北省电力有限公司巴东县供电公司, 湖北 恩施土家族苗族自治州 444300)

【摘要】电力系统是现代社会的基础设施之一,其稳定运行对于保障国民经济发展和人民生活至关重要。伴随信息技术的快速发展,电力系统自动化程度不断提高,使得电网管理更加高效和智能。然而,自动化技术的应用也引入了新的风险点,尤其是在网络安全方面的挑战日益凸显。本文首先分析了电力系统中的主要安全控制问题,然后讨论了电力系统自动化技术,最后,提出了进一步改进电力系统安全控制的对策,旨在为相关工作人员提供借鉴参考。

【关键词】电力系统;安全控制;自动化技术

引言:随着我国“双碳”目标的提出,加快电力系统绿色低碳发展,构建清洁低碳、安全高效的能源体系已上升为国家战略。2021年10月发布的《“十四五”现代能源体系规划》明确指出,要坚持节能减排和保障能源安全的基本方针,建设能源革命的电力系统。这对电力系统的安全稳定运行提出了更高要求。与此同时,《“十四五”智慧电网发展规划》也提出,要大力发展新一代信息通信技术,推动电力系统智能化升级。这必将推动电力系统自动化、信息化和智能化技术的快速创新与应用。一方面这些新技术将大幅提升电力系统的监控与控制能力,增强系统安全性;另一方面也会使电力系统整体运行和控制更加复杂,带来新的安全问题。因此,在“十四五”乃至更长期内,电力系统都面临着安全控制问题与技术应用深度融合的新情况。我们必须正确认识新技术带来的机遇与挑战,在利用新技术提高电力系统安全性与经济性的同时,也要防范各类新问题的出现,这需要系统性的技术与管理创新。

一、电力系统自动化技术

电力系统自动化技术是指应用计算机、通信、控制、仪器仪表等现代技术手段来实现电力系统监控、保护、控制和运行管理的高度自动化的技术。电力系统自动化的主要内容包括:

(一) 电力系统监控技术

电力系统监控技术主要通过广域测量系统(WAMS)、先进的SCADA与EMS系统对电网进行高速精确的状态监测,实现对系统运行状态的实时掌握、故障预警、事故识别、状态评估等功能。WAMS系统通过在关键节点安装相位测量单元(PMU)获取电网时钟同步的电压、电流、频率等信息,采样率可达每秒数十到百次。EMS/SCADA系统则通过站所自动化终

端、微机保护装置等获取电量、断路器状态等信息。高速精确的监测信息输入先进的状态分析软件,可快速判断电网故障,评估系统稳定性,为操作决策提供支持。电力系统监控的关键技术包括高速广域测量技术体系建设、大数据分析技术、先进的可视化显示等。这些技术的应用大幅提高了系统监控与预警的速度与精确度,提升了电网的安全稳定运行水平。但信息网络也带来网络安全问题。

(二) 电力系统保护技术

电力系统数字化保护技术通过应用计算机和数字化硬件设备,取代传统的电磁继电器进行保护判断和动作。数字化保护可实现更复杂精确的保护算法,提高保护速度和选择性,并具有自诊断与远程配置功能。一些新型数字化保护装置集成了保护、监控、控制、测量和通信功能,实现了保护的数字化、信息化和智能化。数字化保护装置的广泛应用,增强了电力系统的自动隔离能力,大幅提高了保护速度、灵敏度与可靠性,增强了系统抗干扰能力和自恢复能力。但数字化装置也带来维护保养、网络安全等新问题。

(三) 电力系统控制技术

电力系统实时控制以并联无功补偿和系列补偿技术为代表,可实现对电压、无功功率及换流设备的快速控制,增强系统稳定性和事故控制能力。先进的电力系统稳定控制技术以灵活交流输电系统(FACTS)装置为核心,通过快速响应的电力电子装置,实现电网参数的快速控制,从而提高系统稳定性与暂态故障通道容量。这些技术的应用增强了电网的动态稳定性与控制性能,提高了系统事故控制与维持能力,但也增加了潮流分布的复杂性,给系统优化运行与维护带来挑战。

(四) 电力系统决策与管理技术

电力系统决策与管理技术通过先进的信息化手

段，建立统一的信息采集、传输与分析平台，辅助控制中心及各级管理人员进行决策分析。主要技术包括大数据分析技术、人工智能辅助决策技术、高清可视化显示等。具体来说，大数据分析技术可以收集电网的海量监测数据，通过数据清洗、存储、分析，提供电力负荷预测、设备健康评估、故障预测、风险评估等分析服务，辅助决策制定。人工智能技术可以通过机器学习和知识图谱等手段模拟专家决策，提供故障诊断、事故处理等智能决策建议。高清可视化显示技术可以生动直观地呈现系统的实时运行状态、潮流分布等，辅助调度操作。

二、电力系统及其自动化技术的安全控制问题

（一）故障识别不及时

电力系统日常运行中会发生各类故障，比如线路、变压器、发电机组的跳闸等。这些故障如果不能得到及时准确识别，将延误最佳的事故处理时机。比如对故障地点误判将导致错误的控制操作；对故障原因和性质的误判，将应用错误的处理方案。这都可能导致事故进一步升级或蔓延。目前，电力系统规模庞大，结构复杂度高，实时采集和处理的信息量巨大，而信息通信系统稳定性又面临质疑。这给故障识别带来了很大困难。此外，缺乏统一、标准化的故障识别模型与方法体系也是主要障碍。能否解决故障准确及时识别的问题，关系到电网安全的生命线。

（二）系统稳定性实时评估困难

电力系统稳定运行条件随时变化，评估其实时稳定状态是确保安全的前提。但由于影响稳定性的因素复杂多变，要构建精确的数学模型进行实时模拟与状态预测非常困难。另外，对各类稳定指标的准确计算与分析也面临数据获取与处理能力的限制。这导致很难实时准确判断系统的稳定状态，为后续的控制决策提供依据。当前，电力系统结构日趋复杂，随机波动性增强，稳定运行的不确定性上升。如何快速判断复杂电网的稳定状态预警，实现对各种突发事件的预评估，是亟待解决的难题。

（三）防范和控制故障蔓延能力不足

当电网中某些元件或局部区域发生故障后，如果不能及时有效地进行隔离和控制，很容易造成故障的进一步蔓延。特别是发生在关键节点的故障，极易引起连锁反应，导致区域性或系统性事故。近年来我国区域大面积停电事故屡有发生，防范和控制故障蔓延能力的不足是重要原因之一。具体来说，当前电网防范蔓延能力受到自动化水平、关键设备配置、通信情况等多方面因素制约。GD 比例偏低使得依靠手动操作的接线方式下，局部事故易造成误操作导致蔓延。关键通道和节点设备不足也限制了事故控制能力。通

信网络故障将中断或延迟重要控制指令的发出。这些因素叠加提高了防范和控制故障蔓延的难度。

（四）新技术应用中隐患积累

电网自动化技术需要大量信息系统的支持，这带来了信息网络安全隐患。同时自动化系统复杂度高，软硬件故障也时有发生。如果这些问题得不到有效监控和处理，隐患就会在系统内部长期积累。举例来说，因通信网络互联互通，一处网络病毒或入侵可以迅速向整个系统蔓延；关键软硬件的隐蔽故障在长时间未能发现和隔离的情况下，会在某一时刻突然爆发并激发连锁反应。这些都可能酿成系统严重事故。近年来，电力系统信息化和智能化步伐不断加快，自动化技术应用中隐蔽的风险也在积累。能否加强新技术应用的风险监测与评估，防范各类隐患长期累积至危险水平，将关系到电网安全运行的命脉。

三、电力系统及其自动化技术的优化对策

（一）完善电网故障监测与预警系统

为实现电网运行过程中故障的快速准确识别与风险趋势判断，需要进一步完善电网的监测与预警系统。主要措施包括：（1）加密广域测量系统，增设更多的相位测量单元，缩小关键区域的覆盖面积，提高监测精度与速度；（2）改造现有的 SCADA、EMS 等监控系统，升级信息采集与通信设备，确保监测数据高速稳定获取；（3）构建基于多源异构数据融合的智能分析平台，整合来自 PMU、SCADA、数字化保护装置等各类监测数据，利用大数据分析和人工智能技术，建立实时、快速、精确的故障识别与风险预警模型。这套全新的高速精确的监测预警系统，可以发挥高频次同步数据的优势，实现对电网故障的微秒级识别；并基于海量历史运行数据积累的训练模型，对事故风险进行科学预判，为电网安全稳定运行提供重要技术保障。

（二）建立健全事故蔓延防控机制

为有效解决电力系统中存在的安全控制问题，完善电网的监测预警、事故处理、系统控制等关键能力，需要从技术层面和管理层面采取系统性的优化对策。在技术层面，要构建新一代的高速精确的电网监测预警系统，实现对故障的微秒级识别和风险趋势判断；还要针对易发生事故蔓延的重要区域和通道，通过事前评估确定隔离方案，动态仿真验证，并部署快速响应的控制设备，形成闭环防控体系，实现对事故蔓延的快速有效抑制。此外，要开发先进的电力系统稳定状态评估与控制算法，使之与现有装置实时联动，针对性地调配资源、制定控制策略，确保系统安全。在管理层面，要建立自动化技术全生命周期安全风险管理机制，从设计、制造、运维的全过程进行风险识别、

评估、防范,杜绝隐患的生成与积累;并深入开展安全文化教育和应急能力建设,强化电力企业的事故处理与管理水平。这些技术与管理并举的系统性举措,将切实提升电力系统的安全控制与稳定运行能力,确保电力供应的安全。同时也需要跨部门、跨机构的高效配合与社会各界的大力支持,共同打造具有自主安全控制能力的电力系统。

(三) 完善系统稳定监测与控制系统

电力系统规模巨大,运行条件复杂多变,实时准确判断其稳定状态是确保安全的基础和前提。为此,需要构建新一代的电力系统稳定监测与控制系统。在技术层面,要开发高效的电力系统大规模稳定分析算法,实现对超大规模电网的动态稳定性快速仿真,使之可以在极短时间内完成数百个节点的稳定计算,并给出直观的稳定状态评估结果。与此同时,通过先进的测控一体化装置,获取电网的实时参数,输入稳定分析程序,形成对系统稳定状态的闭环判断。在控制层面,要建立稳定监测系统与FACTS、并联无功补偿等稳定控制系统的联动机制。当监测系统判断稳定状态异常时,可自动或手动启用相应的稳定控制设备,通过高速精确的电力电子装置快速调节网上参数,迅速响应电网故障,针对性地调配资源、制定控制策略,确保系统稳定安全。这样,稳定监测系统与稳定控制系统的信息化集成与协同控制,既实现了对系统稳定状态的实时判断,又可根据状态评估结果主动进行有源控制,大大提高了电网的安全控制与维稳能力,确保了电力系统持续安全运行。

(四) 加强新技术应用的全生命周期管理

电力系统自动化技术复杂性高、更新速度快,其全生命周期的安全风险管控是确保技术可靠与可控的关键。为此,必须完善自动化系统设计、调试、运维各个阶段的安全风险管理体系。在设计阶段,要建立自动化系统及信息网络的安全评估模型,开展各类故障的依赖性与危害性分析,评估单点故障和联合故障的系统影响,揭示关键系统和设备,提出安全设计优化方案。在调试阶段,要针对自动化系统软硬件的接口协调性、程序匹配性、稳定性等开展重点监测,发现问题及时优化调整,防止故障隐患的产生。在运行维护阶段,则要建立自动化系统的状态监测、数据分析机制,开展主动巡检,识别软硬件故障信号。一旦发现异常,快速定位、诊断、隔离、处理,消除隐患。这样全过程、主动式的安全风险管理,可确保自动化技术系统的安全性与可靠性,有效防止风险的生成与积累,避免技术应用过程中的各类故障导致严重后果的出现,保障电网的持续安全运行。

(五) 提高电力企业的安全文化与应急能力

电网安全稳定运行需要先进的技术体系保障,也离不开电力企业自身的安全文化和强大的应急处置能力。要提高企业安全管理水平,必须高度重视企业安全文化建设,并持续加强安全生产教育培训、应急演练等工作,真正提升企业的安全意识和事故处理能力。安全文化建设要从高层领导做起,将安全生产作为企业发展的基石,融入企业经营战略、考核体系和日常管理中。要加大对员工的安全法规、规章、标准、程序的培训力度,并建立安全行为激励机制,全面增强员工的安全意识和技能。此外还要定期开展事故应急演练,构建团队应对各类事故的协作机制,培养操作人员冷静果断的事故处置能力。在应急体系上,要进一步健全事故的快速反应和支持保障体系。

结束语

随着对策的实施和技术的进步,预期能够显著减少电力系统的事故发生率,提升故障处理效率,从而确保电力供应的连续性和可靠性。然而,电力系统及其自动化技术安全控制领域的挑战是多方面的,需要行业专家、研究人员、政策制定者和工程技术人员持续合作,共同探索更加有效的解决方案。此外,还需要关注新兴技术带来的潜在风险,并及时更新和完善安全控制策略。总之,电力系统自动化技术的安全控制是一个动态发展的过程,它要求我们不断学习、适应和创新,以确保电力系统能够在面对日益复杂挑战时保持稳定和安全。未来的工作应侧重于深化对电力系统复杂性的理解,开发更先进的自动化和信息技术工具,构建更强大的安全防护体系,并通过实践不断验证和改进我们的方法和模型。只有这样,我们才能确保电力这一现代社会的生命线在不断发展变化中保持坚如磐石,为国家经济的发展和人民生活的改善提供可靠的能源保障。

参考文献:

- [1] 魏玮,王涵,王浩然.电力系统及其自动化技术的安全控制问题与策略分析[J].电子技术与软件工程,2021,(15):117-118.
- [2] 武紫钰.电力系统及自动化技术的安全控制问题及对策[J].中国电力教育,2021,(06):72-73.
- [3] 胡亚丁,李舜.电力系统及其自动化技术的安全控制难点与对策[J].低碳世界,2020,10(12):83-84.
- [4] 朱江波.电力系统及其自动化技术的安全控制问题及对策[J].现代工业经济和信息化,2020,10(11):134-135.
- [5] 龙科.电力系统及其自动化技术的安全控制问题及对策分析[J].科技创新导报,2019,16(28):26+28.