

智能电网背景下配电系统安全管理优化策略研究

王传生

武汉中超电网建设监理有限公司 湖北 武汉 431400

【摘要】：在世界范围内，由于世界范围内的能量转换速度加快，以及电力系统的智能化程度越来越高，因此，智能电网已经逐渐成为当今世界新能源系统中的一个重要环节。在此大环境下，配电网是联系源、用电两端的重要节点，其安全性问题对于保障电力市场的平稳、有序地进行，具有重要的现实意义。面对大规模可再生能源接入、多元负荷增长和突发气候灾害等新问题，现有配电网运行方式难以适应，迫切需要通过技术提升和管理创新来提升其控制水平。在此基础上，研究配电网的安全性控制方法，对构建高效、可靠和韧性的配电网，具有重大的学术和实际应用价值。

【关键词】：智能电网背景下；配电系统；安全管理；优化策略

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.030

按照《2023年电力安全监管重点任务》，2022年末，全国配电网总里程已经突破560万km，其中设备老化、外部环境干扰和信息化程度不够等因素导致的断网事故占38%。根据《中国电力行业发展报告2022》，我国居民用电负荷超过87%，但其智能覆盖范围还不到50%，特别是故障快速隔离、风险预警和适应性调节能力较弱。随着分布式光伏、电动汽车等新兴能源的大规模投入，配电网的拓扑更加复杂，其安全性和运营的难度也越来越大。在此背景下，迫切需要从体系结构、技术手段和管理体制三个方面来推进配电网的安全管理向数字化和智能化转变，从而提高系统的综合恢复和反应能力。

1 智能电网背景下配电系统安全管理存在的问题

1.1 网架结构脆弱：分布式能源接入适应性不足

在我国，多采用单电源、辐射状网络的配电网络，其最初的目的是实现电力由变电所到客户的单向输电。但是，随着分布式光伏、风电等新能源在配电网中的大量应用，该模式受到了极大的冲击。其中心的冲突就是权力转移的二元性对原来操作逻辑的颠覆。根据《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》，部分新能源高渗透率的新能源台区，其高渗透率区域的电压波动可达10%以上，从而造成电网局部电压超标，这一现象已成为我国电力行业面临的重大挑战。而在这种情况下，原有的继电保护结构也出现了失配现象。如传统的过流保护设定的最大负载电流是建立在预先设定的最大负载电流的基础上，而在故障状态下，DG不断地将辅助电极注入到故障位置，从而造成上游和下游的保护都不能正常运行，从而造成无计划的孤岛现象，给维修工人带来很大的危险^[1]。

1.2 感知能力薄弱：数据采集与融合度不高

全面、精确、实时的数据感知是智能电网的重要保障，但目前的配电网“透明化”水平还有待提高。与主干网中已经普及的各种新型传感技术相比，配电网中尤其是低压用户端，仍有诸多监控盲点，被称为“最后一米”。大量的线路交换机和配电台区的操作资料不能被高效地上载，使得调度员很难把

握全局的变化。另外，即使采集到了这些信息，它们的综合运算能力也是非常有限的。配电网数据来源高度异质，包含SCADA遥测遥信、电力用户信息收集、配电自动化终端(DTU/FTU)等多个异构数据，其中物联网传感器的温度、局放等数据构成复杂多样的数据。由于数据格式、协议和采样频率不一，分布于各个应用平台，构成了“信息孤岛”^[2]。

1.3 防御体系滞后：主动预警与自愈能力欠缺

现有的配电网安全防护机制在应对日趋复杂的内外部失效、外部冲击等方面存在较大的滞后现象。在实体的安全性方面，失效的反应方式仍然是消极的。中国发电协会《中国电力行业年度发展报告2023》指出，2022年，我国居民家庭平均断电时长为8.41h/户，事故性断电是导致家庭停电的重要因素。目前，电力系统的故障定位、隔离及无故障区域的电力供应仍然依靠人工巡线和人工操作，时间长，自愈覆盖度亟待提高。在信息安全方面，由于配电网的IP化和无线化，使得配电网受到的威胁范围迅速增大。传统的边境防火墙不能很好地解决配电自动化系统、先进量体系(AMI)等新兴的网络安全问题，且其被突破将造成大面积停电和重要设施损毁。同时，当前的防卫战略也缺少“韧性”的思考，即在台风、冰雪、网络等重大灾害中，系统地吸收、适应和快速应对极端灾害的能力^[3]。

1.4 管理机制僵化：协同运作与应急响应低效

目前，我国煤矿企业在生产过程中出现的问题，既有其自身的原因，也有其深刻的根源。目前，我国的供电企业普遍采用纵向化、专业条块分割的功能结构，运行检查、调度、安监、营销等部门分工明确，但跨部门、跨专业的协同过程繁琐且效率不高。在事故紧急情况下，由调度中心发出指令，由运检组现场排查处置，由营销部门通知重点客户，这些环节之间的联系如果有延迟或者不对称，就会导致停电的持续时间大大增加。另外，虽然每个部门都有完整的紧急情况计划，但是他们的行动能力经常被怀疑。现有的应急方案大多过于简单，无法适应网络攻击、极端天气等新的突发事件情景，而文本化、表

格化的表述方式使得应急方案在实际突发事件中不能被迅速解读和实施。演习往往只是走过场，与现场事故处置流程脱离很大，无法将训练成果有效地转变为员工的“动作记忆”与“协作直觉”。由于管理体制的僵硬，即使掌握着再先进的设备，在复杂的程序与部门之间的隔阂下，效率也会大打折扣，难以建立起有效的整体应急指挥与战斗能力。

2 智能电网配电系统安全管理的优化策略

2.1 强化网架基础：构建灵活可靠的主动配电网

建立柔性、可靠的有源配电网（ADN）是提高配电网安全水平的重要物理依据。现有配电网多采用辐射型布局，难以满足分布式光伏、风电等高渗透新能源并网需求。按照《配电网建设改造行动计划》，到2025年，中国配电网的新增负荷率要达到30%，但当前仍然有40%左右的县级配电网不能达到其技术需求。因此，大力推行网格化和标准化的网格结构是解决该问题的重要途径。该项目的实施分为三个阶段：首先，对现有的大规模电力系统进行网格划分，把原来的大规模电力系统分成20-50 MW的多个互联互通的电力网络，并配备双边电力联络线路，以保证单个故障下的负载迅速转移。第二个步骤就是推进装备标准化，参考《GB/T 36270-2018 配电网规划设计技术导则》，对现有的低压配电网进行改造，实现对低压配电网的改造，实现低压配电网的自动化改造，并在全国范围内推广应用具有遥控控制能力的智能环网柜。第三个步骤是对DG进行优化，在《Q/GDW 11147-2018 分布式电源接入配电网技术规定》中，对DG的接入方式进行了深入研究，提出了对DG的选址及容量要求，并在其并联点配置反孤岛保护。另外，对蓄电装置进行优化布置也是抑制电力波动和提高调节能力的一项关键技术。例如，江苏镇江电力公司，其计划于2022年投入运行的一座具有100 MW/200 MWh的新型储能系统，可有效缓解部分区域中午时段出现的“超压”现象，使系统的电压合格率提高5.2个百分点。

表1 有源配电网（ADN）建设关键阶段实施表

项目阶段	核心措施	关键数据/标准
网格划分	拆分为20-50MW 互联电网，设双边联络线	单故障下负载可迅速转移
装备标准化	改造低压配网，推广智能环网柜	参考 GB/T 36270-2018
DG与储能优化	明确 DG 选址容量，配置孤岛保护；布储能装置	镇江储能 100MW/200MWh，电压合格率提升 5.2%

2.2 提升感知智能：建设全域互联的配电物联网

配电网物联网构建是实现配电网透明感知与智能决策的关键。《中国电力行业信息化年度发展报告 2022》指出，我国10 kV输电线路的智能化监控覆盖率仅为60%左右，而0.4 kV低压台区的智能化监控覆盖率还不到25%，且存在诸多“感知盲点”。构建“全域互联配电网”，需要在配电网中大量配置

智慧感知终端。在变电站出线、分段开关、联络开关等重点节点上加装智能配变终端及故障标志，并将边缘计算技术与智能融合技术相结合，实现对低压客户的先进测量系统。该传感器必须能够支撑 IEC61850（变电所通讯网路与体系）及 IEC104（远端通信协定）等国际协定，以保证装置之间的连通性。第二个步骤就是搭建一个基于云计算的边缘协作的一体化信息平台。在华为和阿里云等企业的云计算平台的支持下，构建了一个分布式的数据中心，从下到上连接各种终端收集到的实时信息，并对各种智慧应用进行支持。该系统需要采取层次化解耦结构，其中，省一级主要承担全局的信息融合与高层应用，县级一级的边缘计算则主要承担区域性的数据处理与快速反应。第三个步骤，就是要加强对大数据的智能化运用。本项目拟采用大数据分析技术，将电网中大量生产数据（电压、电流、功率）与气象、地理等数据进行相关性分析，构建智能电网风险预警模型。如广东电力公司根据台风及电网失效监测资料，研发了“电网台风风险预警系统”，其预报精度可达85%，可在72 h内实现对台风影响下的配电网失效的预警，为防灾减灾工作的开展奠定理论基础^[4]。

2.3 增强防御韧性：打造主动快速智能防御体系

智能化防护的目的就是要让电力网络既有“免疫力”，又有“自愈力”，以应付各种突发事件或突发事件。从物质安全角度看，提高配电网的自愈能力，是缩短供电中断的最直接、最有效的途径。系统的自愈能力取决于集中式与分散式的协同控制方式。其基本思路为：在电网运行过程中，通过对电网运行过程的监测，对电网运行状态下的电网运行状态进行分析，并对电网运行情况进行预测，并在此基础上对电网进行优化调度。将具有 P2P（peer-to-peer communication）的智能终端（FTU,DTU）沿着配电网分布，利用 GOOSE 消息（IEC61850）实现毫秒级的通讯。在不需要人为介入的情况下，相邻节点能够在不需要人为介入的情况下，迅速发现故障点并进行故障定位、隔离及无故障地区（分布式）供电。中国电力科学研究院编制的《配电网自愈技术导则》为我国电力电子信息系统的大规模推广奠定了基础。在信息安全方面，需要构建“云-边-端”相结合的积极防护系统。在终端装置（终端）上使用了自制的口令芯片，对其进行了加密，并对其进行了安全引导；在边界（边界）上配置 IDS，对数据流进行实时的分析，并对数据的不正常行为进行过滤；而云计算环境下的安全态势认知平台，通过人工智能的方法，对整体的信息系统进行全面的分析与预警。而配电网恢复力评价则是建立一套有效地应对极端天气的有效方法。借鉴清华大学电气工程学院的“配电网韧性三角形”评价模式，从健壮性（抵御能力）、冗余性（资源储备）和快速性（回复速率）三个方面，对其抵御极端气候灾害的能力进行定量评价，建立差别化的防御措施，如将高海拔的输电塔（35-42 m/s）、重点线路光缆化或构建局域微网等，以保证

重点负载的供电连续性^[5]。

2.4 创新管理机制：优化协同高效现代治理模式

企业的科技进步，必须有与之相适应的经营体制改革，方能使其效益最大化。传统的“自上而下”的纵向经营方式存在着很大程度的割裂，已不能满足智能电网对业务需求的迅速反应。推进“中央监测+分区自主”运行与运行管理方式是破解这一难题的重要途径。将 SCADA（数据采集与监控系统）、地理信息系统（地理信息系统）、OMS（断电管理系统）等多种平台的信息集成起来，形成一个集输配用电监测为一体的“智慧操作中心”。同时，把操作权力进行了分散，在各个厂或者网格单位成立了“分区自治团队”，并安装了一个手机运营 APP，接受了来自该公司的指令，对其管辖范围的配电网进行巡视、运行以及故障处置，从而达到了“发现—决策—实施”的扁平化、高效率。第二个步骤就是建立跨部门、跨专业的协作连接体系。打破运维、调度、市场营销、计划部等部门间的隔离，形成定期的协同工作与协调机制。如为解决电动车

充电负载不断增加的问题，可通过市场销售机构进行客户的报装资料、负荷预估、计划机构制订接入计划、运营机构进行配网改造、调度机构进行实时负载调节等，从而构成一个闭环。第三个步骤就是采用数字孪生的方法来进行企业的数字化经营。数字孪生技术是将 BIM、地理信息系统（GIS）与实时运营数据相结合建立起来的一种新型的电力系统^[6]。

3 结语

综上所述，随着我国智慧电网的持续发展，研究配电网安全管理的最优控制方法，对于提高配电网的供电可靠性和运营效益，以及维护国家能源安全和社会经济发展都有着重要的现实意义。在此背景下，随着人工智能、数字孪生、物联网等新兴科技的深入发展，配电网的安全性将逐渐由“反应式”向“主动预警”“隔离管控”向“协作式”发展，促进电网向绿色、智能、韧性方向发展，为我国“双碳”目标的实施奠定重要的理论与实践基础。

参考文献：

- [1] 赫震宇.智能电网中的配电运维一体化技术应用[J].集成电路应用,2025,42(04):280-281.
- [2] 郑巍.智能电网中的配电运维一体化体系分析[J].电子技术,2024,53(09):368-369.
- [3] 白云峰.智能电网中的配电设备与技术分析[J].电子技术,2024,53(07):360-362.
- [4] 阮波.智能电网中的配电运维一体化策略分析[J].集成电路应用,2024,41(07):312-313.
- [5] 张智.智能电网中配电自动化系统的设计与实现[J].光源与照明,2024,(06):141-143.
- [6] 吴庭赞.智能电网背景下的配电运维一体化建设分析[J].电气技术与经济,2023,(06):237-239.