

分布式光伏高渗透下抚州电网第三道防线自适应控制技术研究与应

胥志寰,何 盛,徐之琳

(国网江西省电力有限公司抚州供电分公司,江西 抚州 344000)

摘 要:文中阐述了因分布式光伏发展,抚州电网第三道防线(低频减载装置)面临控制策略滞后、装置管理粗放等问题,导致电力系统第三道防线的可切负荷容量出现“潮汐式”波动,电网的自我调节能力下降。基于此,抚州公司利用现有保信分站系统及 D5000 系统,构建第三道防线自适应控制系统,开发主站高级功能,贯通主站与低频减载装置数据交互。经测试,该系统成效显著,能有效控制低频可控负荷量,提升管理水平。此技术路线具有成本低、周期短、可推广性强等优点,同时针对系统现有不足,提出由省公司牵头制定指导文件、明确职责划分等建议,以进一步提升第三道防线智能化管控能力,提高电网安全稳定运行水平。

关键词:分布式光伏;第三道防线;自适应控制;低频减载装置;D5000 系统

中图分类号:TM 712 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-348X(2025)02-0011-04

0 引言

在新型电力系统建设进程中,分布式光伏持续快速增长,电力系统“双高”特征愈发显著。一方面,系统稳定特性发生深刻变化,传统稳定问题依旧存在,宽频振荡新现象不断涌现,系统低惯量、低阻尼、弱电压支撑的特征凸显^[1-2];另一方面,系统故障防御能力面临巨大挑战,以低频减载为主要手段的第三道防线(低频减载装置)适应能力显著下降^[3-4],建设适应新型电力系统运行特性的第三道防线,是保障电网安全稳定运行的关键之举^[5]。

随着抚州地区分布式光伏电源大规模接入,第三道防线适应性不足的问题开始凸显,主要体现在以下两个方面:一是在控制策略方面,当前第三道防线的控制策略相对滞后,无法灵活适应分布式光伏出力的大幅波动。低频减载可控负荷量会随着光伏出力的变化而出现“潮汐式”波动,使得第三道防线频繁面临“欠切”和“过切”的风险。以 2024 年 2 月 14 日为例,在午间腰荷时段,分布式光伏大发,此时抚州地区第

三道防线可切负荷量仅为 26%,远低于 35% 的标准要求,电网存在较大的欠切风险;而到了当天夜间,分布式光伏无出力,可切负荷比例却急剧上升至 48%,又面临过切风险,第三道防线面临失守问题。二是在装置管理方面,目前第三道防线存在管理粗放、智能化程度低的问题^[6]。抚州地区的低频减载装置分布广泛且分散,缺乏有效的集中管控手段。由于没有建立起统一的可视化监视平台,运维人员难以实时掌握各装置的运行状态,这给设备的日常维护和故障排查带来了极大困难。此外,传统的低频减载方案一年一制定、一年一执行,对电网实时变化的动态响应能力不足,无法满足现代电网高效、直观、可靠的管理需求。这种管理模式不仅降低了工作效率,还增加了电网运行的潜在风险^[7]。

为解决上述问题,抚州分公司基于现有的保信分站系统及 D5000 系统,研发了第三道防线自适应控制系统,贯通了主站与厂站低频减载装置的数据交互,建立具备低频减载功能状态与通信信息流的联系,利用 D5000 系统的实时业务模块,实现减载馈线有功和开关状态的采集,结合保信分站系统,实现低频低压减载

收稿日期:2025-03-15

作者简介:胥志寰(1990),男,硕士,高级工程师,从事电网调控运行、电力经济研究。

装置的定值、压板状态、动作及告警信息,实现地调第三道防线运行状态的集中监视、自动研判、模型管理和运行管理等功能,开发并完善第三道防线主站的高级功能应用。通过第三道防线在线监视系统,对厂站端保护装置低频减载软压板进行控制,并对该自适应控制系统进行了功能升级完善,降低了传统低频减载装置在大量分布式光伏入网给大电网带来的安全隐患,提升了第三道防线的智能化、精细化管理水平。

1 抚州电网概况

抚州电网位于江西中东部,供电面积 1.88 万 km^2 , 供电人口 356 万,供区内有 4 座 500 kV 变电站,16 座 220 kV 变电站。截至 2024 年底,分布式光伏接入容量为 63.5 万 kW,不同县区分布式光伏发展极不均衡,临川区分布式新能源装机最多,达 13 万 kW,乐安县分布式新能源装机(7.1 万 kW)与最大负荷(12.4 万 kW)的比值最高,达 57%。相较于目前抚州地区集中式光伏装机 300 万 kW,分布式光伏还有较大增长空间,预计近两年分布式光伏装机容量将迎来爆发式增长。

伴随着分布式光伏快速发展,第三道防线可靠性将面临严峻挑战。抚州公司的低频减载方案包含五个基础轮次,三个特殊轮次,包含 280 条线路,最大可切负荷占全市最大负荷的 50%,对应的低频减载装置分布在 50 个不同的站点,由于缺少集中管控手段,低频减载装置的可切线路不可更改,面对新能源出力的“潮汐式”波动,第三道防线可切负荷比例日内波动剧烈。

2 第三道防线自适应控制系统的构建

2.1 总体框架

依据抚州电网现运行安全支撑系统,贯通D5000平台第三道防线主站系统与厂站侧低频减载装置之间的双向传输通道,建立数据链接,利用基础平台处理所采集的装置运行情况、压板投入状态、定值等信息,在抚州地调D5000平台开发部署第三道防线集中管理(自适应控制)系统。该自适应控制系统可完成第三道防线装置运行状态的集中监视、自动研判、模型管理和运行管理等功能,同步为该系统优化了可视

化展示界面及数据采集、装置信息全景展示、有源馈线识别、低频减载方案智能决策等功能,实现其远程控制功能,做到低周装置集中可视、可测、可控。自适应功能控制图如图1所示。

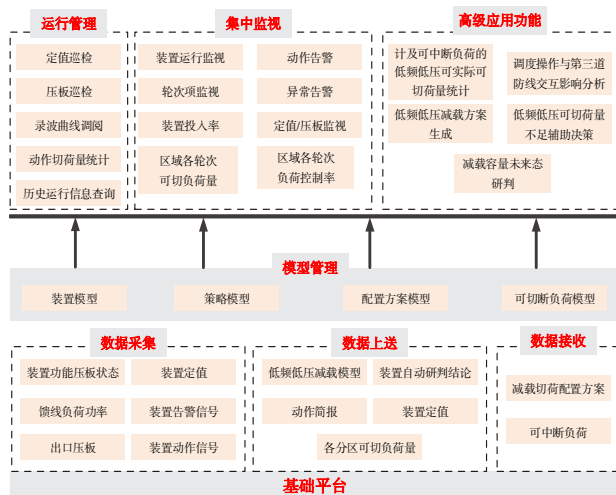


图1 第三道防线主站功能示意图

2.2 贯通主站与低频减载装置的数据交互

2.2.1 厂站侧数据网关机升级改造

结合抚州分布式光伏的分布情况,优先在临川、乐安、东乡、宜黄四个县区变电站端对数据网关机进行升级改造,实现通信管理机对低周装置的定值召唤与下发、功能投退压板的采集与控制功能,如图2所示。

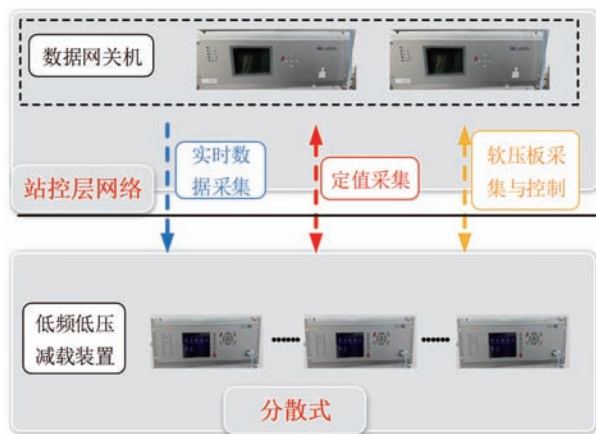


图2 厂站数据采集示意图

2.2.2 主站侧服务器部署

在调度控制系统 D5000 I 区内部署第三道防线服务器,利用原有调度控制系统与变电站通信管理机原有调度数据网通道,实现低周装置的信息上传和控制命令下发,如图 3 所示。

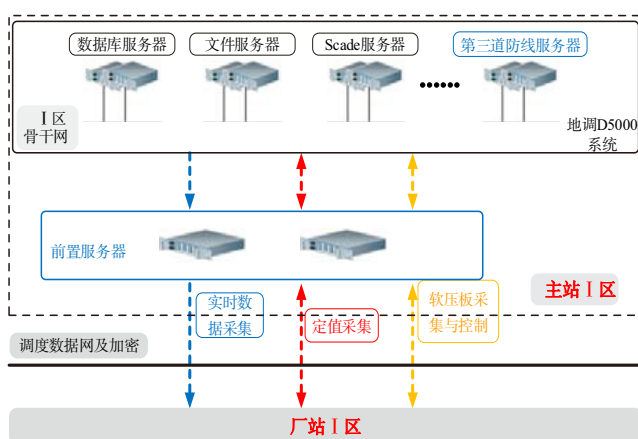


图3 第三道防线系统配置图

2.3 开发与完善第三道防线主站高级功能

2.3.1 数据采集与控制命令下发

地调第三道防线在线监视应用部署在安全一区,采用一体化建设模式,共用D5000前置。前置服务器通过电力调度数据网采集厂站端低频低压减载装置的实时数据、压板、动作信息(SOE)等信息,供第三道防线应用使用;第三道防线应用下发召唤定值文件命令,实现对定值文件的召唤储存;第三道防线应用远程控制模块,通过下发遥控指令给前置模块,实现对软压板的投退操作。

2.3.2 模型管理和集中监视功能

在D5000第三道防线主站系统构建低频低压装置模型、策略模型、配置方案模型、可中断负荷模型等模型。基于以上模型,完成自动研判,实现运行管理、集中监视、高级应用等功能。

2.3.3 自动研判功能

1) 运行装置状态研判

通过综合某一减载轮次项相关的功能压板研判结论、定值研判结论、告警信号以及该轮次项对应的馈线是否为有源馈线等信息,研判该轮次项功能是否正常,通过综合该装置每一轮次项的研判结论,研判该低频/低压减载装置运行状态是否正常;同时,结合有源负荷线路功率与装置运行状态,并根据三道防线模型中各轮次定值与离线低频低压切负荷配置方案进行匹配,分别统计出各区域各轮次可控量及总可控量,将各区域各轮次可控量与配置方案中的可控量限值进行比较,评估电网各轮次可切负荷量是否足够。所构建的自适应自动研判过程如图4所示。

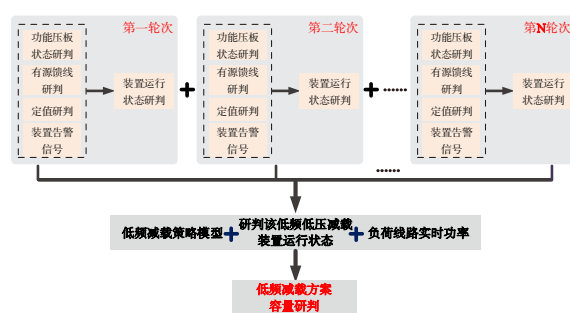


图4 第三道防线自动研判功能示意图

2.3.4 高级应用功能

1) 低频可控负荷量不足辅助决策

当电网配置的低频低压实际可减载量不足时,综合考虑备切负荷线路优先级、是否民生负荷、是否接有重要用户等属性信息,根据实时负荷功率给出自动调整低频低压减载配置的优化方案,以满足上级调度对本地的减载配置要求,决策逻辑图如图5所示。

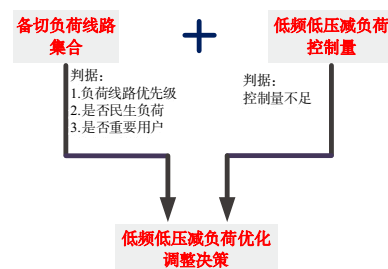


图5 抚州辅助决策逻辑图

2) 低频减载方案生成逻辑

基于指定的可切负荷线路集及相关属性,根据上级下发的减载配置方案要求,自动对地区电网各轮次低频减载方案进行调整,给出减载配置方案,包括可切负荷布点位置、所在轮次等,生成低频减载方案,低频减载方案生成逻辑如图6所示。

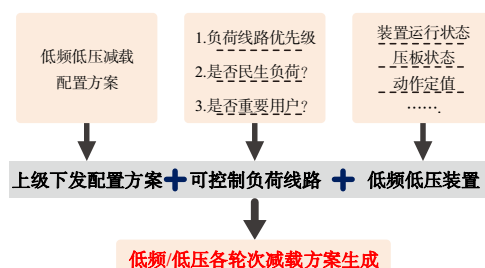


图6 低频减载方案生成逻辑图

3 第三道防线自适应控制系统的成效

为验证该自适应控制系统的有效性,挑选了分布式光伏大发与其无出力时,得到了自适应系统建设前

后的低频可控负荷比例,如图7所示。在新型电力系统第三道防线系统建设前,抚州地区在分布式光伏大发的典型日下,午间的低频可控负荷比例低至23%,明显低于低频可控负荷比例35%的标准要求,电网存在较大的欠切风险;在光伏无出力的典型日下,整体时段的低频可控负荷比例远高于35%,高达60%,电网则存在过切风险。抚州公司将新型电力系统第三道防线系统主站投入14个厂站进行测试,在分布式光伏大发与其无出力时均能有效降低可切负荷量波动幅度,将低频可控负荷量控制在30%~40%范围,较建成前可切负荷量波动范围25%~60%有明显改善,预计待全部厂站接入主站,低频减载装置可控率达80%以上时,能够更加精准地控制低频可控负荷量。

抚州分公司大力推动新型电力系统第三道防线的建设,已完成第三道防线主站系统的部署与高级应用开发。可视化方面,目前已完成16个220 kV变电站,23个110 kV变电站完成161条低频减载线路软硬压板状态、减载定值(频率,延时)、装置异常状态等的采集;动态可调方面,已对14个站点进行可控改造,通过D5000可实现48条低频线路远程可控,可动态调整负荷资源约占总负荷资源的5%~6%;同时,抚州分公司优化了低频减载方案,在五个基础轮次,三个特殊轮次外增设了一个备用轮次,备用轮次线路可机动调整,极大地增强了方案的灵活性与适应性。

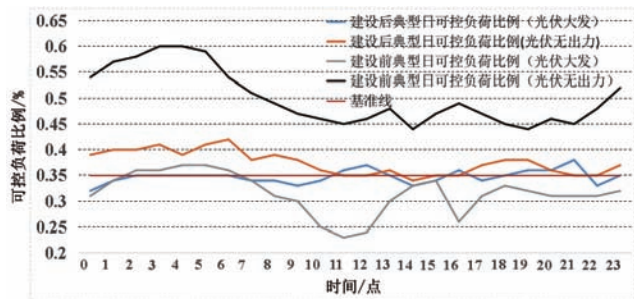


图7 精准调节可控负荷量效果示意图

4 结 语

抚州分公司基于已有D5000系统提出的提高第三道防线自适应性的技术路线不需要改造硬件,具有投入成本低,建设周期短,可推广性高的优点。在第三道防线升级改造工作中积累了丰富经验,且初具应

用实效,主要包含三个方面:一是主站建设方面,深入研究D5000架构,优化配置,开发适配本地电网的高级功能,提升主站监测与控制能力,为其他地市提供借鉴,避免重复探索,有效缩短主站建设时间;二是场站接入方面,与五家主流厂家合作制定点表,统一数据标准,解决接口和格式问题,保障数据接入的准确、快速,同时解决了低频装置远程遥控双确认的难题,为系统运行奠定基础;三是验收方面,规范主站和场站验收流程,组织调度、运行、检修三方共同验收,制定统一标准,各环节严格把关,避免后期整改,节约成本。

目前,抚州分公司建立的第三道防线自动控制系统处于系统智能辅助决策、人工远程控制的半自动运行工况,仍有进一步优化完善空间。针对第三道防线运行规划及职责划分问题,提出以下两点对策建议:

1) 建议由省公司牵头,组织相关专家和技术人员,制定关于低频装置全自动运行安全性、可靠性的指导文件,为各地市公司提供技术规范和操作指南,进一步提升第三道防线智能化管控水平。

2) 明确低频减载装置远程调控等相关工作的职责划分,统一各地市公司的工作标准和流程,确保第三道防线自适应控制系统能够高效、稳定运行,共同提升江西省电网安全稳定运行水平。

参考文献:

- [1] 易善军,李原,马宁嘉,等.实际次/超同步振荡事件的多频率耦合效应分析[J].电网与清洁能源,2024,40(7):56-61.
- [2] 叶林,王凯丰,赖业宁,等.低惯量下电力系统频率特性分析及电池储能调频控制策略综述[J].电网技术,2023,47(2):446-462.
- [3] 姜超,蔡国伟,杨冬锋,等.基于双馈风电机组频率响应解析模型的系统低频减载策略[J].电力系统自动化,2023,47(21):108-118.
- [4] 王玉坤,张慕婕,石梦璇,等.考虑风电频率响应的电力系统低频减载控制策略研究[J].可再生能源,2023,41(9):1247-1254.
- [5] 盛四清,樊茂森,张文朝,等.高新能源占比系统的低频减载优化方法[J].太阳能学报,2021,42(2):365-369.
- [6] 李顺等.计及需求响应的智能化微网频率紧急控制策略[J].中国电机工程学报,2018,38(1):10.
- [7] 高剑等.考虑配网负荷曲线特性的低频减载执行方案调整方法[J].电力系统保护与控制,2024,49(24):159-167.