

号，平台还配备了四支降落伞火箭信号。平台四周安装了消防水管，并至少设有两个消防栓接口，配备了长度不小于 15 米的消防水龙带，确保消防水源的及时供应。

舱内结构及布置：左右片体对称，单片体舱内在 FR11 设置防火门，将其分隔为泵舱和发电机舱两部分。4 个火灾报警分别布置其中。燃油舱、溢流舱、发电机、配电柜、充放电柜、蓄电池等位于发电机舱。

3.2 轮机部分

3.2.1 电力系统

平台配置两台 300kW 发电机，分置于左右片体舱内，左侧发电机发电，通过左侧片体舱内主配电板为左侧用电设备供电，右侧设备的布置和左侧对称布置，供电原理相同。

平台左右片体之间增加了联络开关，在特殊情况下，打开联络开关，左侧发电机发电可通过右侧主配电柜供电向右侧片体上用电设备供电。右侧供电原理相同。如此设计可满足互为备用，增加平台的可靠性。

平台选用经典斯太尔型柴油机，性能可靠，经久耐用，电子调速，防泄漏高压油管。

3.2.2 高压冲洗系统

工作平台高压冲洗系统用于网兜在线机械化清洗，配备四组高压柱塞泵：两组 90kW 泵（流量 170L/min、压力 25MPa）和两组 110kW 泵（流量 350L/min、压力 16MPa），均配变频电机以调节流量。平台左右中后部设两个高压水管接口，可快速连接手持式高压水枪，提升清洗质量和效率。

3.2.3 液压系统

液压泵站集成于舱内，为水下门架清洗装置供能，含电机泵组、油箱、过滤及控温组件等，满足单一设备满负荷作业（两者不同时运行）。泵站配 IP44 电控箱（室内）和 IP56 启停按钮盒（机旁），保障操作便捷安全。

3.2.4 通风透气系统

平台燃油舱设置透气管在甲板中部穿出甲板，末端为鹅颈弯头形式。透气管截面积为柴油注入管 1.25 倍以上，透气管下方设有集油槽。平台左右片体均设有抽风分风机，每台风机每小时抽风换气 6000 立方米。甲板面设置 8 个带有自闭装置的鹅颈通风头，如果发电机全负荷工作时，还可以将快开人孔盖打开，用于自然通风。

3.2.5 疏排水系统

平台不设置排水泵，片体内部积水通过船上的水瓢排除舱外。甲板面设有梁拱，两片体之间设有压浪条，避免海浪通过缝隙涌上甲板，且方便甲板积水流出。

3.3 网兜在线清理和辅助更换装置

3.3.1 网兜水上部分清洗

工作平台通过设置于首部的冲洗机构，利用绞车和导缆孔将网具绕过水平滚轮牵引至网兜冲洗区域，牵引过程将网兜展开便于冲洗。冲洗区域设置三道冲洗横管，第一道

冲洗横管由上往下冲洗网兜上表面，第二道冲洗横管由下往上冲洗网兜下表面，此冲洗横管位于水平滚轮后方，可避免网兜挂住喷水横管。前两道冲水横管冲水压力相对小，主要冲洗常规附着物，第三道喷水横管设置在冲洗区后部，喷枪出水口压力远大于第一第二冲洗横管，可以冲洗掉网兜上最顽固的附着物。正常情况下前两道喷水横管即可清洗干净网兜上的附着物。三根喷水横管均可自由调整冲水角度，确保从最佳的距离和角度对网兜进行全面冲洗^[4]。

3.3.2 网兜水下冲洗装置

水下门架冲洗系统由可转动式水下门架，高压供水系统、高压冲洗横管、液压系统组成。该门架设计为上下转动式，转动半径可达 8.5 米，能够深入水下 7 米进行作业。水下门架抵靠网兜表面，利用绞车绷紧网兜，使的冲水横管可以抵近网兜进行高压冲洗。为了确保压力足够，水下喷水横管分为左右两部分，通过开启单侧，降低流量来增加冲洗压力。如果网兜水下部分没有顽固附着物，可以同时开启左右喷水横管进行高压冲洗。

3.3.3 网兜辅助更换

平台的网兜在线辅助更换功能通过与潜水员协同作业提升效率：平台运输 2-3 个新网兜至更换点，利用绞车和不锈钢钩头将网兜尾部拉上斜向下甲板（前端距水面 0.5 米）储存；潜水员下水解开固定绳索，平台绞车牵引旧网兜移至平台。放网时，平台移动至指定点，潜水员系固网兜口与水下钢缆。该流程减少在线换网及潜水作业时间 30%，降低清洗频率，延长网兜寿命，使更换需求减少 70% 以上。

4 结语

本项目历经一年研发建造已完工验收。作为研发项目，设备及功能预留余量并设多套备用方案，功能性指标超任务书要求。平台设计为两个独立单体，可组合成更大工作平台且互为备用，单个平台能独立漂浮，能够在水下拼装拆解。

质量可靠是最大亮点，从选材到试验全程严控质量，高压冲洗系统、柱塞泵等关键部件均采用高标准耐腐蚀材质，设备选型预留 2 倍以上裕度，可抵御超级台风并兼顾额外需求。

但过度冗余导致平台超重，给吊装下水及上岸带来不便。建议后续类似项目合理控制裕度，在确保可靠前提下减少冗余、降低设备功率与数量，选用高可靠设备以减轻重量。

参考文献

- [1] 李汉光;徐万平;付建明;王涛;闫俊 滨海核电冷源取水口海生物拦截体系的改进设计[J] 科技与创新2022, 第19期P164-168.
- [2] 徐川;胡正春 滨海核电站冷源拦截体系建设与研究[J]科技与创新2019-09-021.
- [3] 熊碧露;许波涛;郑早华;祝奇超 基于冷源安全的滨海核电厂取水拦污网设计[J]中国港湾建设2022, 第42卷第9期P45-48.
- [4] 徐维; 核电厂拦截网兜抽吸清理装置CN202411492139.2[P].2024-10-23.

Active defense and reconfiguration visualization of overload in distribution area considering distributed energy fluctuations operational research

Cong Zhao Chaoqun Lin jun Wu

State Grid Henan Electric Power Company Xuchang Power Supply Company, Xuchang, Henan, 461000, China

Abstract

the application of distributed energy in the distribution area has improved the penetration rate. Due to its volatility, it is prone to some problems, such as overload, voltage out of limit and three-phase imbalance. The establishment of an overload active defense system can coordinate large-scale loads under the weak model and respond quickly to contradictions. The DC hierarchical design is optimized, and the single exchange iteration algorithm is adopted to decouple the power flow of AC and DC subsystems, which can effectively cope with the fluctuations of distributed energy. Through the visual reconfiguration platform, the functions of voltage fluctuation prediction, overload risk warning and real-time topology adjustment are integrated, which plays an important supporting role in decision visualization. This paper studies the strategy of overload active defense and reconfiguration visualization in the distribution area considering the fluctuation of distributed energy.

Keywords

Distribution Station area; Considering the fluctuation of distributed energy; Overload; Active defense; Reconfiguration visualization strategy

计及分布式能源波动的配电台区过载主动防御与重配可视化策略研究

赵聪 蔺超群 吴俊

国网河南省电力公司许昌供电公司，中国·河南许昌 461000

摘要

配电台区应用分布式能源，提升了渗透率。由于其存在波动性，容易出现一些问题，诸如过载、电压越限以及三相不平衡等。建立过载的主动防御体系，能够将弱模型下的大规模载荷以协调，对于矛盾快速响应。对直流层级设计以优化，采用通过单次交换迭代算法能够对交直流子系统潮流进行解耦，当分布式能源出现波动的时候能够有效应对。通过可视化重配平台，将电压波动预测、过载风险预警以及实时拓扑调整功能集成，对决策可视化起到重要支撑作用，本论文针对计及分布式能源波动的配电台区过载主动防御与重配可视化策略展开研究。

关键词

配电台区；计及分布式能源波动；过载；主动防御；重配可视化策略

1 引言

目前一些地区为实现双碳目标，启动光伏试点，使得更多的分布式能源接入配电台区。但是，电源不稳定的问题难以解决，主要原因在于波动性和不确定性，因此造成台区电压超过规定局限，线路过载且存在反向潮流。如果采用传统调度系统，对于分布式能源变化不能实时响应，导致台

区之间无法协同。本文提出“主动防御+可视化重配”一体化框架，通过分布式优化算法使得源荷群控群调得以实现，波动性得到平抑。同时构建数字孪生平台，以实时生成过载风险动态推演与重配策略。

2 分布式能源波动对配电台区的主要影响

2.1 反向重过载风险

如果某一区域内的用户数量比较多，同时安装大容量光伏设备，当日照充足的时候，进行集中发电的时候，会有很多富余电力产生，以低压线路为载体，就会反向输送到配电变压器。如果这个台区原有的负荷比较低，导致光伏出力非常高，因此导致净发电量超过净用电量。使得变压器长

【作者简介】赵聪（1984-），男，中国河南禹州人，本科，工程师，从事配网运维、配变及低压分布式光伏管控等研究。

期处于反向重载状态，甚至达到过载状态。如此非设计工况下维持运行，容易导致铁芯磁通饱和，甚至绕组温度快速升高，严重的情况下，容易造成绝缘老化速度加快，出现局部放电，甚至毁坏变压器。

2.2 电压质量问题

直流发电单元与交流电网连接的重要装置是光伏逆变器，其输出电压是否得到有效控制，对台区电压水平有直接影响。但是，现实中的部分用户为了高效率发电或者规避监控，对逆变器的电压设定值以调整，使其在较高的电压区间运行，甚至有用户使用质量比较低的逆变器，电压调节能力不高，缺乏精准度，预防孤岛保护功能。这些行为叠加起来，很容易导致电压超越局限，台区末端电压已经超过国家标准规定的上限，即 $400V \pm 7\%$ ，已经达到 $430V$ ，甚至会更高。电器处于长期过电压状态，其寿命缩短，还会导致敏感电子设备损坏，因此导致用户投诉。更严重的是，电压的提升还会造成线路损耗过大或者无功分布，因此导致恶性循环。

2.3 超容发电隐患

部分用户为了获得更高的上网电量收益，在没有进行电气校核的情况下对光伏装机容量盲目扩容，使得实际发电能力已经超过了低压线路和计量装置所能够承载的极限。比如，某台区的原设计，负荷最大值为 $80kW$ ，但是，个别用户甚至私自将光伏装机从 $5kW$ 提升到 $15kW$ ，而且多个用户的类似操作经过叠加之后，总潜在出力甚至已经达到 $120kW$ 。天气晴朗的情况下，如果集中出力，低压主干线路就会超过安全阈值，导线严重发热，接头氧化速度加快，因此导致火灾隐患存在。更为复杂的是，这种类型的超容行为，现有采集系统运行过程中不能及时发现，主要的表现是间歇性超标，如果采用常规巡视手段，很难捕捉到，加之部分区域的线路老化，不能很好地发挥绝缘性能，当出现短路或者发生弧光故障的时候，就会导致严重后果。

2.4 功率因数异常

传统工业用户会由于感性负载非常多而造成功率因数比较低，需要加装电容器补偿。但是，在大量接入分布式光伏的情况下，就会更加复杂化：白天眼光充足，光伏发电非常旺盛，如果本地负荷非常小，大量的有功功率就会向外传输，而逆变器如果仅仅发出有功功率而不参与无功调节，系统就会呈现出轻载高电压和低无功需求的状态，整体功率因数不能达到理想范围。比如，部分地区的考核标准要求每个月的平均功率因数要超过 0.9 ，否则就要收取功率调整电费。当地的多家企业由于光伏出力频繁波动而触发力调罚款，单月累计损失量非常大，已经达到数万元，因此导致用户承受巨大的经济负担，也反映出现在光伏系统只发有功功率，不管无功功率。采用这种粗放式的运行模式，难以解决实质性问题。

3 配电台区过载主动防御策略

分布式光伏能源的应用，导致运行风险非常复杂，

仅仅依赖于事后抢修方式，结合人工干预，已经无法满足现代智能电网的安全需求。这就需要从原有的“被动响应”向“主动预防”转变，将多层次、多维度的过载防御机制建立起来。具体如下：

3.1 基于逆变器控制的无功调节技术

现在的光伏逆变器所发挥的功能多样化，已经不再局限于简单的直交转换。现代智能逆变器的能力非常强，普遍能够四象限运行，即可独立调节有功功率和无功功率的输出，成为潜在的分布式无功源。这一优质特性为解决台区功率因数异常提供了新的选择。通过远程通信协议，调度中心或者本地控制器能够实时下发无功指令，引导逆变器在发电的同时提供容性或感性无功支持，从而使得系统无功需求达到动态平衡状态^[1]。例如，在傍晚光伏出力下降但居民负荷上升阶段，系统可能出现无功缺口，此时可通过集中控制系统自动调用台区内各光伏逆变器释放储备无功容量，避免因功率因数降低而导致的线路过载与电费惩罚。相比较于传统的固定式电容器组，这种方法的特点是响应速度快（毫秒级）、调节精度高、使得实现软资源发挥硬作用，可谓是创新应用。以江苏某地试点项目为例，其通过逆变器无功协同控制，台区日均功率因数由 0.82 提升至 0.94 以上，力调电费支出减少幅度达到 67% ，成效显著。

3.2 优化无功补偿与协调控制

虽然逆变器可以发挥调节作用，但是在大范围电压波动或者长距离输电场景中，依然有不足之处。所以，将更强大的专用补偿装置引入是非常必要的，可以形成“分布式+集中式”相结合的综合治理体系。目前，主流方案包括智能无功补偿柜（SVG/SVC）、串联电压调节器以及分层投切的电容器组。这些设备能够根据台区实时电气参数进行自动投入或者切除，对电压闪变起到抑制作用，三相不平衡状态得以改善，线损得到控制。尤其是在中压 $10kV$ 馈线上部署串联补偿装置，可在源头缓解下游多个台区的电压抬升压力。与此同时，还需要构建三级协调控制，即“变电站—中压线路—配电台区”一体化。该系统依托广域测量系统（WAMS）和配电自动化终端（DTU/FTU），可在全网范围内采集电气量并联合优化。当检测到某台区即将出现过载现象的时候，系统可优先启动最近的无功补偿单元，如果依然不足，就会向上游请求调节压力，必要的情况下，还可通过主站下达光伏限功率指令，形成自下而上、逐级联动的防御链条。比如，某个市级电网已经建成这种类型的协调平台，覆盖台区超过 1000 个，成功将重过载发生率降低 41% 。

3.3 小生境粒子群优化算法的有功无功协调优化

为进一步提升优化精度以及鲁棒性，将人工智能算法开始融入到配电网控制领域，发挥智能控制作用。小生境粒子群优化算法（NPSO）的应用，其具备全局搜索能力，且具备多解保留特性，当存在光伏出力不确定性强、目标函数非线性的复杂优化问题的时候，可以采用这种方法处理^[2]。