

[配电网]

基于运维经济性的配电网可靠性方案研究

文/朱利锋 杨成钢 王骏永 黄伟君 沈 靖 刘子卓
国网浙江省电力有限公司丽水供电公司

在新型电力系统建设及布局下，电网分布更广，光伏爆发增长，柔性负荷大量涌现，对于配电网的高效安全运营有了更高的要求。配电网资源合理调节，优化成本控制，科学规划管理配电网新能源反向重过载、电压越限的风险，既可以缓解配电网的运营压力，又能够优化电力资源的分配及成本经营。围绕配电网运维经营的可靠性方案，调节配电网资源利用技术，解决和突破技术难点，提升配电网运营的可靠性和安全性。

在新型电力系统建设改革的背景下，电力系统的运营管理正经历着深刻的改革，分布式光伏是新能源运营管理的重要模块。根据数据统计，2022年分布式光伏新增装机5 111.4万kW，占光伏新增装机的58%，连续两年成为电网市场的主体。光伏发电是目前配电网重要的运营管理对象。在配电网资源管理方面，要合理调整电力负荷以及分布式储能，制定智能化、数字化和自动化的可靠性运营方案，调节配电网管理的模式，优化提升配电网管理的可靠性和安全性。

新型配电网建设运营的特征及运营管理面临的挑战

1. 新型配电网建设运营的特征

在新型电网建设管理体系中，分布式新能源电网体系符合绿色化建设特征。分布式光伏配电体系一直采用绿色低碳的运营模式，但在实际建设布局时具有不确定性。分布式新能源大规模进入配电网管理体系中，电网中管理单元的单体容量小、数量庞大，使规模大、分布广的分布式光伏电网一直处于弱调度的状态。当分布式光伏电网同步运行时，配电网过载的危险，也使配电网电压越线问题高

频发生。

新型分布式发电系统在建设中进入了有源阶段。对于电网负荷密集的一线城市，如北京的分布式光伏装机容量已非常高，超过集中式光伏，配电网的有源化进程不断加快，有源化程度不断提高，传统的配电网有源化程度已被双向功率流动模式替代，是目前配电网运营管理的一大重点。

分布式新能源与灵活性负荷已从被动接受指令转变为双向通信主动控制配电网。主动化成为目前分布式新能源配电网运营管理的重要特征，需要采用优化的配电网运营调度的方法，提高配电网分布式消纳水平，调节电网小时数，基于分布式光伏电网的主动化特征调节电网运行的成本以及收益，依照配电网的新能源消纳以及灵活性配置方案做定量分析。在配电网运行仿真调度优化的过程中采用定量分析规划配电网的运营效益和模式。

分布式光伏配电网还具有数字化的特点，依照配电网数字通信化的模式，多家电力企业搭建了物联网平台与智能终端，同时搭建了电网的通信体系，高效管理配电网的各个运营单元，包括布置分布式光伏开关、负荷控制装置。配电网的数据化管理中融合了配电网物联网以及智能终端技术，调控

配电网的数据通信渠道,提升整个配电网运营管理的自动化水平及效率。

2. 遇到的问题和挑战

为有效运营和控制新型配电网,针对新型配电网的分布式能源消纳、电压稳定及供电质量等安全问题做主动调节,制定配电网运营管控方案,为此,要对配电网的运营问题做细致分析,详细了解新型配电网资源调节以及管控中的问题。

新型配电网在日常运营时面临电力负荷数量庞大、单体容量较小的问题,配电网电力负荷运行时遇到了多学科仿真问题,在实际运营时面临的电力负荷需求有着巨大的差别,给新型配电网可靠运营调控带来了巨大的挑战。

在做新型配电网可靠运营方案时需要重点分析以下三个问题:

1) 新型配电网在调控运营时要探究如何进行实时通信控制、灵活调整和满足海量负荷与配调系统之间的问题。

2) 配电网运营体系中要探索电力负荷在电力系统中的参与方式,国内对于电力负荷的参与主要是邀约制、价格激励等方式,对于灵活电力负荷调整的电网需求,配电网运营体系需要思考如何制定和推广电力负荷在电力系统中的参与方式。

3) 配电网需要思考如何运用负荷响应配电网系统的调控算法,既能够保证电力系统的指标,又能够实时高效地保障各类电力资源的调整效果,在配电网运营方案中要思考调控算法及制定资源利用模式。

在我国,新型配电网运营体系已成为目前重点思考和探索的方向,新型电网建设要围绕着上述三个问题进行配电网运营方案的制定和调整,优化运营系统的资源管理、算法调控和通信控制等,既能解决电网运营系统的市场化问题,又能保障配电网运营系统的负荷隐私以及安全问题。

新型配电网运营系统的模式制定策略

1. 配电网集中分布式协同自治调控模式的制定

新型配电网具有可调节资源多、数量庞大及单体容量小的特点,运营管理需要优化调度所有的资源,针对资源分布及电力负荷容量管理的模式设计集中式及分布式的运营模式。

新型配电网运行时需要调度海量分散的可调度负荷,分布式新能源电网利用调整电压等级负荷的方式设计分布式优化策略,配电网以自动化的调控管理系统达成集中式整体状态管理,实现整个配电网的优化管理。配电网运营系统设计要重点控制低压负荷情况,优化电源与配电网自动化设置,设置中间层级并优化配电网的中间层级,最终构成终端负荷-中间负荷管理单元-配电网自动化-主配的互联网及配调-台区-终端的集中分布式调控模式,提升整个配电网系统的优化运行与管理水平。

为了支撑新型配电网的运营管理,搭建了海量的可调节负荷与配电网运营体系的终端设备,用来支撑配电网的云端、管控以及架构调控工作。这些智能终端设备可很好地运用在配电网自动化体系中,灵活地调控电源与负荷情况,优化管理,提升新型配电网集中硬件管理水平。

采用台区智能终端和物联网平台的模式进行配电网的运营管理,可在每一个台区内将智能终端布置在分布式光伏以及用户周围,形成一个可调节负荷耦合的自治体,在每一个自治体中对耦合的分布式光伏的运营情况进行实时感知,优化调整,预测功率。在智能终端及物联网平台上,感知光伏的分布态势,精准预测电力功率,对不同类型的可调节负荷的可塑性、可调节电荷进行动态和量化的评估。基于智能终端的自治体,配电网的运营系统能够内部自治调节、优化聚合,根据可塑性平台调整光伏的随机波动性。基于智能终端的协同自治调控模式设计体系如图1所示。

配电网运营体系可消纳台区无法负荷的电量,互相匹配电量负荷,实现配电网台区的互济互惠的调度,确保配电网分布式光伏消纳能力提升,保障配电网的安全运营。

基于分布式光伏、用户侧可调节资源及分布式智能终端的有机融合,在配电网运营系统中协同自治调整,以新能源为主体推动配电网运营体系运用全新的运营管理技术。在分布式优化及集中式优化配电网运营管理中,将海量分布的资质调控系统进行资源的调度及配电网承载能力的优化,集中上层优势,精准调度分布式新能源、分布式储能及建筑环境负荷等可调度的资源,为配电网运营管理的去中心化打下基础。

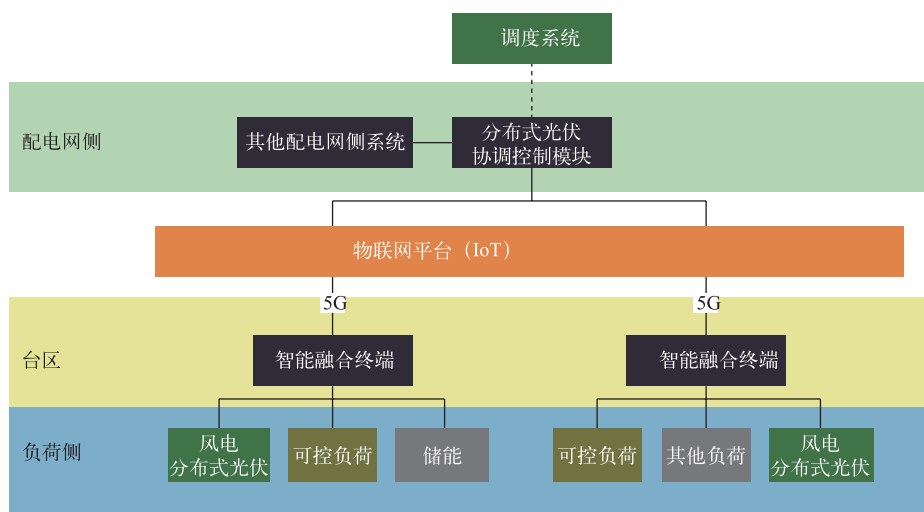


图1 智能终端的协同自治协同体系

2. 配电网运营体系协同自治调控策略

优化分布式光伏功率预测技术，根据分布式光伏的波动特性、时空分布规律以及气象功率耦合关系做分布式光伏的电力负荷管理。针对分布式光伏的特点，利用智能终端的分布式光伏高功率预测技术，构建分层架构，搭建预测技术体系，在单一分布式光伏站点、台区内分布式光伏集合以及多台区分布式光伏集群等不同尺度空间做拓展管理，实现分布式光伏发电功率的精准预测及管理。

要进行配电网运营体系管理效果的动态量化及评估，就要对电力负荷调节能力做量化评估。综合考虑可调节负荷功率的物流特征、控制方法及电气特性，调整和评估可塑性在线动态量化精细评估，丰富配电网运营体系的管理效力，提升负荷调节能力以及配电网运营效率。

在配电网可调节负荷用电消费总量不变的情况下，对可调节电荷的可塑性评估主要依靠用电系统中的储热、蓄冷、储电等储能环节的元素，并根据用电系统的电制热、电制冷、充电桩等能量转化环节运行情况进行空间调节，提升配电网的运行管理效率。可调节负荷的可塑性依照配电网运行系统的物理特征进行分析。

配电网运行系统根据不同地区用户的用电情况调节电力，调查分析不同地区的用电总量、用电舒适度等指标，调度电量，以此为依据进行配电网运营体系的可塑性调节。

基于分布式光伏功率预测和可调节负荷可塑性

动态量化评估的基础，在配电网运营体系中进行台区智能终端的配电网分层分级系统自治调控设计。根据配电网数字建模单一及多台设计区间计算方法，分析分布式光伏功率预测以及可调节负荷可塑量化评估配电网的运营管理效率，修正配电网运营管理的算法，将智能终端融合物联网平台做边缘计算，在配电网的台区内做电压越限、电网过载风险感知，评估配电网运行效率，事前制定风险防范和管理的机制。

随着能源结构的转型和智能电网的发展，配电网运营体系正在发生深刻的变化。如何有效地管理和控制分布式能源资源，提高配电网的运营效率和可靠性，已成为亟待解决的问题。对此，可基于台区智能终端的云边协同区域，研究自动发电控制和自动电压控制算法，进一步优化分布式光伏、风电、分布式储能以及可控负荷配电网的运营模式。首先，利用自动发电控制算法，实时监控配电网的运行状态，根据负荷需求和能源资源分布情况，自动调整发电计划，实现分布式能源的优化调度。同时，自动电压控制算法可有效地控制电网电压，确保配电网的安全稳定运行。其次，通过建立云边协同分布预测模型，有效研究配电网与配电网台区之间的线上关联性。利用大数据和人工智能技术，对配电网的运行状态进行实时监测和预测，为决策者提供科学的决策支持。同时，通过设计台区与智能终端之间的算法控制，更好地管理和控制分布式能源资源。最后，通过分布式源荷的分层优化和配电

网的分层分级优化协调以及控制，更加有效地满足负荷需求，提高配电网的运营效率，减少能源浪费，对环境保护和可持续发展具有积极的影响。

配电网的成本运营模式可利用投入产出比的方式进行效益分析，根据配电网运营体系中各类资产的建设投入、存量资产运营投入、成本折算等指标做投入产出效益的分析。在成本运营中，对配电网的存量资产、增量资产做投入分析，保证投入与产出效益之间的互相匹配，分析各类成本指标及因素的运营效益，量化成本指标，调配资产投入评价

指标。在评估成本运营效益时，对显性的经济效益和隐性的技术效应要同步兼顾。经济效益包括电量销售效益，技术效益包括评估配电网运营效益的算法及模型，综合分析配电网运营的负债率、成本效益、资产运营效益及技术更新管控效益，以此为依据综合考量配电网运营体系的综合管理效益，形成可供参考的运营分析结果，评估整个配电网的综合管理效益。在配电网运营管理中，围绕配电网的固定资产、权益资产、营运资产及运营维护费用设定成本控制机制，计算资产回报率，如图2所示。

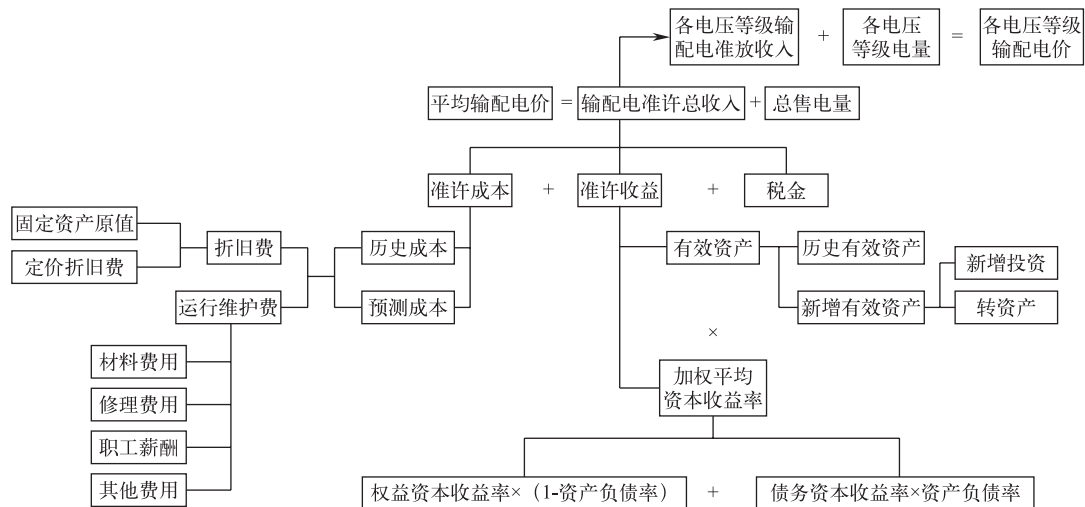


图2 配电网成本管控机制

配电网成本运营控制模式可采用不同的成本核算方案。如采用全生命周期成本计算方法，具体为 $LCC=CI+CO+CF+CD$ ，其中CI为初次投入成本，CO为运营成本，CF为故障维修成本，CD为固定资产的损益成本。另一种成本控制方法为投入产出分析，核算方法为 $R=\frac{IN}{K}$ ，K为全生命周期的成本，IN为全生命周期的经济效益，R数值越大，配电网成本控制效益越好。

结束语

在新型电力系统建设运营的背景下，配电网的运营管理体系随着行业的发展不断优化。根据新型配电网的绿色化、有源化、主动化、数字化及柔性化的特征，探索和创新配电网运营管理体系。根据新型配电网的分布式新能源消纳及供电质量科学调节资源，实时调整和制定配电网的电力运营模式，设计电网集中-分布式系统的资质调控模式，优化

管控算法，引入智能管控终端，科学调整和分布智能配电自治调控运营。同时辅助成本运营管理模式，协调优化配电网的资源运营、负荷运载分析控制及安全风险管理，适应新型电力系统的建设及管控。EA

(收稿日期：2023-11-23)

参考文献

[1] 戚野白. 基于精细化建模的负荷直接控制及能效电厂集成技术研究[D]. 天津：天津大学，2017.

[2] 梁志峰，夏俊荣，孙檬檬，等. 数据驱动的配电网分布式光伏承载力评估技术研究[J]. 电网技术，2020，44(7)：2430-2439.

[3] 惠红勋. 温控负荷参与电力系统动态响应的建模与控制方法研究[D]. 杭州：浙江大学，2020.