

# 山区35 kV配电台区简易设计技术及供电实践

黄孝超, 谷 种, 陈建伟, 杨太国, 陈祖才, 苏 军

(国网重庆市电力公司巫山供电分公司, 重庆 404700)

**摘要:** 根据因地制宜的分布式新能源发展理念, 目前山区中的风光等新能源得到了进一步开发, 然而并网与电能供应受目前配电台区规模不足的限制。由于山区变电站布点少, 配电线路长, 布置不合理, 导致山区 10 kV 用户低电压现象较为突出。为了解决山区供电能力不足的问题, 亟需配套坚强的配电网架支撑。针对偏远山区负荷分散、地理环境复杂、建设资金匮乏和运维成本较高的配电网运行现状, 提出了简易的 35 kV 配电台区一二次供电模式, 基于实际山区场景验证了简易台区各项指标。该方案在成本、配置和运行损耗等方面得到了有效提升, 能够适应当下新型电力系统环境下的山区配电网建设。

**关键词:** 配电台区; 电气机理; 智能运维; 供电实践

## Simple design technology and power supply practice of 35 kV distribution station in mountain area

HUANG Xiaochao, GU Zhong, CHEN Jianwei, YANG Taiguo, CHEN Zucui, SU Jun

(Wushan Power Supply Branch of State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 404700, China)

**Abstract:** According to the concept of distributed new energy development according to local conditions, new energy sources such as scenery in mountainous areas have been further developed. However, its grid connection and electric power supply are limited by the insufficient scale of current distribution station area. Due to the small number of substations in mountainous areas, long distribution lines and unreasonable arrangement, the phenomenon of low voltage for 10 kV users in mountainous areas is prominent. In order to solve the problem of insufficient power supply capacity in mountainous areas, it is urgent to support the supporting strong distribution network frame. In order to solve the problem of insufficient power supply capacity in mountainous areas, it is necessary to support a strong distribution network. In view of the current situation of distribution network operation with scattered loads, complex geographical environment, lack of construction funds and high operation and maintenance costs in remote mountainous areas, this paper proposes a simple 35 kV distribution station area with one or two power supply modes, and verifies the indicators of the simple station area based on actual mountainous scenes. The scheme is effectively improved in terms of cost, configuration and operation loss, and can be adapted to the construction of mountainous distribution networks under the current new power system environment.

**Key words:** power distribution station area; electrical mechanism; intelligent operation and maintenance; power supply practice

## 0 引言

随着地区经济的快速发展和配电网络的日益智能化, 用户侧电气设备的规模逐年扩大, 受各

类因素影响, 相关地区亟需新增配电台区以完善电力供应<sup>[1]</sup>。然而台区安装部署受到地理环境的限制, 在大部分山区, 由于可用面积不足、安装

材料运输困难及容量供给半径小等问题, 现有山区难以建成规模体系的台区供电系统<sup>[2]</sup>。同时, 偏远山区向企事业单位电气设备提供电气运维服务的队伍普遍存在规模小、技术水平低和服务无保障等问题, 不能满足广大客户的正常需求<sup>[3]</sup>。因此亟需设计同时考虑经济成本、安装环节和运维条件的新型简化配电网台区, 满足山区用户用电需求<sup>[4-5]</sup>。

随着“双碳”目标推进, 按照输出与就地消纳利用并重、集中式与分布式发展并举的原则, 配电台区下分布式光伏、电动汽车、储能和柔性负荷等灵活资源持续快速增长, 具备显著的波动性、间歇性与随机性等特征, 台区内能源结构发生变化, 给配电台区的供需平衡协调、供电可靠性等带来不利影响<sup>[6-7]</sup>。目前国家政策是光伏按照“应接尽接”的原则, 但是部分地区电网已达到承受极限, 给配电台区侧在管理模式、多源参与调控技术与快速响应能力等方面带来巨大影响。同时受地区、台区负荷类型和负荷水平等因素影响, 台区内微小企业、商业和居民用户用电特征呈现多样性和复杂性, 无法实现对台区用能的统一优化和管理。目前山区缺乏对35 kV配电台区源荷储充资源的统一管理和实时协同调控, 难以实现台区内供需动态平衡。

针对山区普遍存在因资源配置不足、安装环境不达标而导致新能源与负荷无法按需接入的情况, 本文提出了简化配电台区的设计方案, 同时提升了原有的运维模式。通过强化信息化技术应用, 建设代维监控主站大厅, 通过智能采集装置、通信网络实时采集和监控客户电力设备数据, 为研究分析用电情况提供数据支撑, 提升配电网电气运维的科学性和响应性。

## 1 新型配电台区建设需求介绍

为推动配电台区感知全景化、数模一体化、用能智能化和台区低碳化, 实现台区精益管理、负荷精准调控和客户精品服务, 助推“供电+能效服务”可持续发展, 推动智慧台区成为“碳达峰、碳中和”行动方案的着力点和以新能源为

主体的新型电力系统建设的落脚点, 根据台区规模、用户类型等因素定制不同台区的典型应用场景, 通过试点台区的建设和创新研究应用, 形成解决方案, 推动运行状态全景感知、营配精益管理、源网荷储协同优化和用户优质服务等业务场景的应用落地<sup>[8]</sup>。

依托电力系统配电网改革改制背景以及专业资源的优势, 有需求、有能力通过创新构建智慧配电所运维系统, 通过因地制宜地制定用户侧电气设备代维服务标准, 向有需求的客户提供安全、优质和高效的电气设备运维服务<sup>[9]</sup>。在提升客户设备运行水平, 降低客户管理成本的同时, 同步提升市场占有率, 提高客户服务水平<sup>[10-11]</sup>。

### 1.1 配电台区要素机理分析

在配电台区中, 需要研究源网荷储充各资源的动态关联与协同交互机理, 面向高渗透率分布式新能源接入应用场景, 基于台区运行情况与业扩报装需求, 分析新能源接入的相关影响因素, 制定最优的动态接入配置方案, 充分挖掘台区低碳运行目标下分布式新能源的接入潜力, 提出台区新能源最大接入能力精准评估方法, 指导以新能源为主体的台区建设和正常业扩报装等工作的开展。总体实施方案如图1所示。

首先, 基于高频率电气与非电气特性数据采集, 研究台区源网荷储充各资源间电流、电压、功率和频率等全方位电气联系, 研究台区关键功率联络、调峰调压、配用一体、电能质量和短路电流等关联电气特性, 提出源网荷储充关联电气特性。

其次, 通过源源互补、源网协调、源荷互动、源储互动和源荷互动等多种交互形式, 分析各资源的运行约束, 包括功率平衡、电压限制、电源出力限制、潮流约束、负荷需求与储能充放电约束等, 分析多重约束下的源网荷储充协同交互机理。

最后, 确定供电工程实际业务设计与实施过程中的需求, 结合电源侧不同类型间的协调互补特性、柔性负荷的灵活可调节特性和储能资源的充放电特性等, 确定不同资源间的交互边界, 如

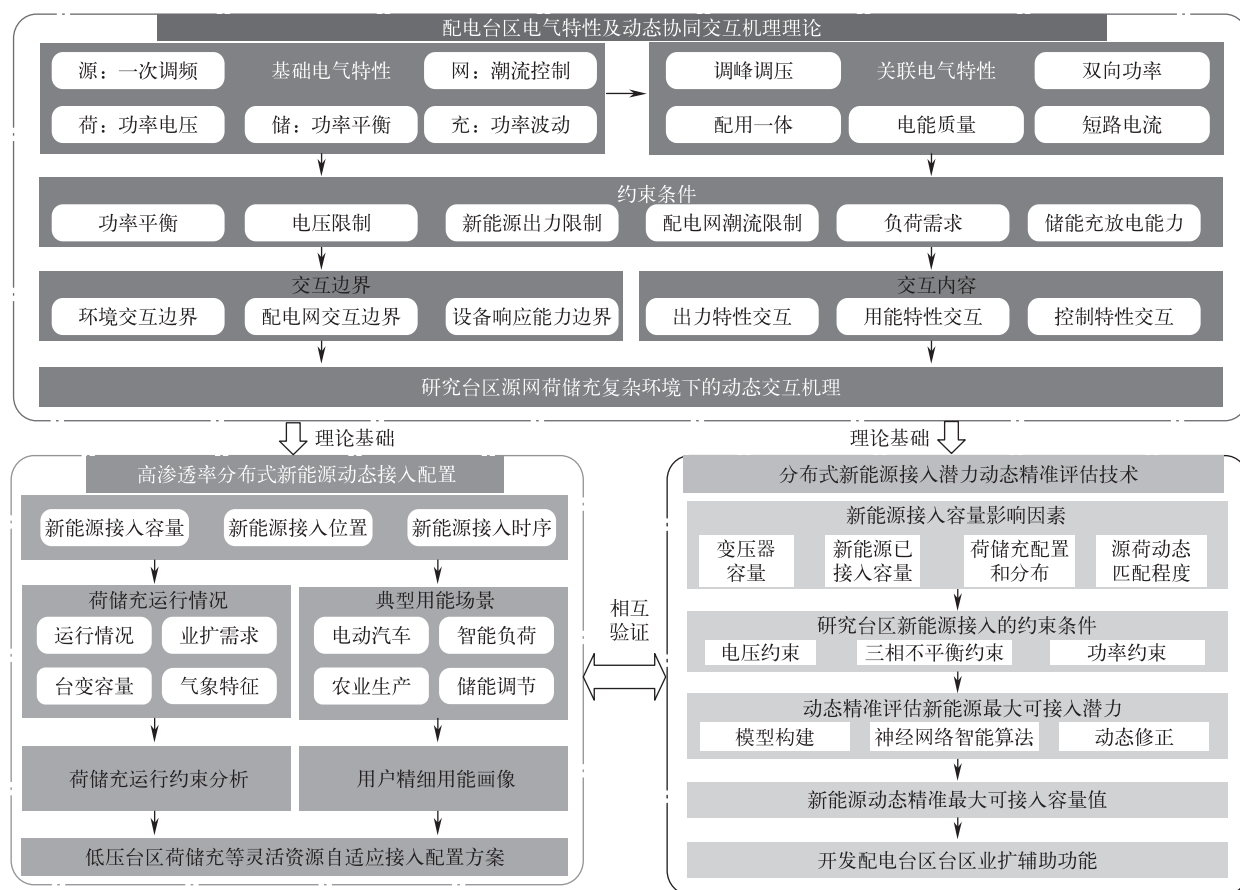


图1 新型配电台区电气交互机理分析

Fig. 1 Analysis of electric interaction mechanism in new distribution station area

与外界环境的交互范围、自身在电气量与控制量中的交互边界等，从而提出台区动态协同交互模型，为后续课题提供模型理论基础。

## 1.2 配电台区分布式新能源接入潜力动态精准评估技术

首先，以用电采集系统海量数据信息为基础，采用聚类分析方法，在配电台区整体运行情况、用电情况、动态负荷特征和光伏反送电情况等方面开展分析研究，考虑台区多种资源的负荷调节和新能源消纳能力，提取新能源接入对台区安全稳定低碳运行的影响因素，包括变压器容量、源网荷储匹配程度、线损率、末端电压和气象条件等。

其次，针对不同台区运行情况与业扩报装需求，筛选比较多种影响因素之间的交互关联关系，建立分布式新能源接入潜力精准评估模型，

并研究采用神经网络智能算法实现台区多源数据智能计算。考虑台区动态运行特性，研究接入潜力修正方法，动态生成台区新能源最大可接入容量值。

最后，基于营销和用采系统架构，开发配电台区业扩辅助功能模块，汇集台区静态和动态运行数据，开展新能源可接入潜力动态精准评估，推动配电台区业扩辅助服务智能化和便捷化。

## 2 新型配电台区简易模式应用

35 kV 简易变电站相比常规变电站，设计精简，简化了部分设备，施工难度变小，工序简化，工期缩短，大大节省了工程经济投资，能够给因资金短缺、施工困难等原因导致暂无 35 kV 电源布点且供电质量较差的山区带来新的建设模式。

## 2.1 配电台区简易模式电气一次部分

台区设计方案分类自上而下按两个层次进行划分,即台区布置方式和配电装置形式。台区布置方式采取户外台区,配电装置采用户外软导线中型布置,架空出线。主变压器采用油浸式三相双绕组自冷无载变压器,详细部署方案如下。

1) 35 kV配电装置采用户外设备,本期及最终采用线变组接线形式,出线1回。考虑节约用地、减少投资,35 kV线变组间隔使用敞开式组合电器。

2) 主变压器部分本期及最终建设一台容量为8 MV·A的主变压器,配有载调压开关。

3) 10 kV配电装置采用户外设备,本期及最终采用单母线接线,建设出线6回、母线电压互感器1组。根据建设简易站的思想,本方案站内仅建设10 kV变低间隔、10 kV母线及10 kV母线PT间隔,馈线间隔及站用变压器间隔由配电网在围墙外采用专业台架式建设。

4) 取消35 kV站用变压器。10 kV站用变压器选用油浸密闭式站用变压器,容量可根据需要配置,一般选用30 kV·A或50 kV·A。

从继电保护的角度,为简化保护配置,建设单层建筑,布置保护、监控、通信、计量和储物等,总建筑面积约30 m<sup>2</sup>。变电站的高压侧和主变压器主要由35 kV高压熔断器进行保护。同时由下一级35 kV线路的保护实现远后备保护。保护须进行三个方面的校核:①校核熔断时间,当主变压器故障时,熔断时间应小于变压器所能承受短路热稳定电流的时间;②校核最小短路电流时的灵敏度,实现对主变压器低压侧的保护;③校核断流容量,避免熔断器最大断流容量小于系统最大短路容量。配电台区整体拓扑结构如图2所示。

## 2.2 配电台区简易模式控制部分

在简易模式下,台区具备配电变压器基本的监测、保护和通信功能,实现配电台区计量管理、负荷管理和状态监测,并选配用电信息管理和互动化管理功能。系统控制管理策略如图3

所示。

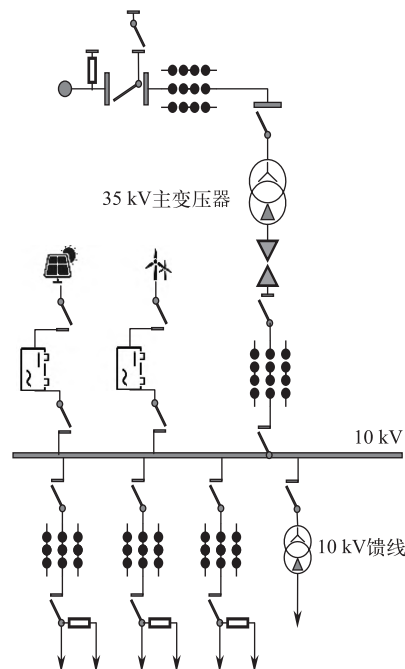


图2 新型配电台区拓扑结构

Fig. 2 New topology of distribution station area

基于现有采集通信架构进行系统升级和优化配置,提出台区源荷储充全局智能高频监测方案,基于研究台区源网荷储充动态关联与协同交互机理,构建台区各类设备电气特征观测体系。研发提出台区监测功能模块,通过能源路由器采集电压、电流、频率、相序、光伏逆变器状态和电动汽车充电规律等信息,对台区数据进行处理,实现台区内分布式光伏、电动汽车、储能和柔性负荷等各类能源运行及互动状态实时全局感知。

分析配电台区源网荷储充全局互动方式,建立以台区用能效益最优为目标,以新能源有功出力、节点电压、支路电流、支路功率、储能系统响应、电动汽车充电响应和用户用能舒适度等为约束条件的台区全局互动调节策略模型。

## 3 新型配电台区简易模式运维方案

### 3.1 运维平台架构

整个运维平台网络结构由监控管理层、通信网络层和现场测控层三层构成,如图4所示。

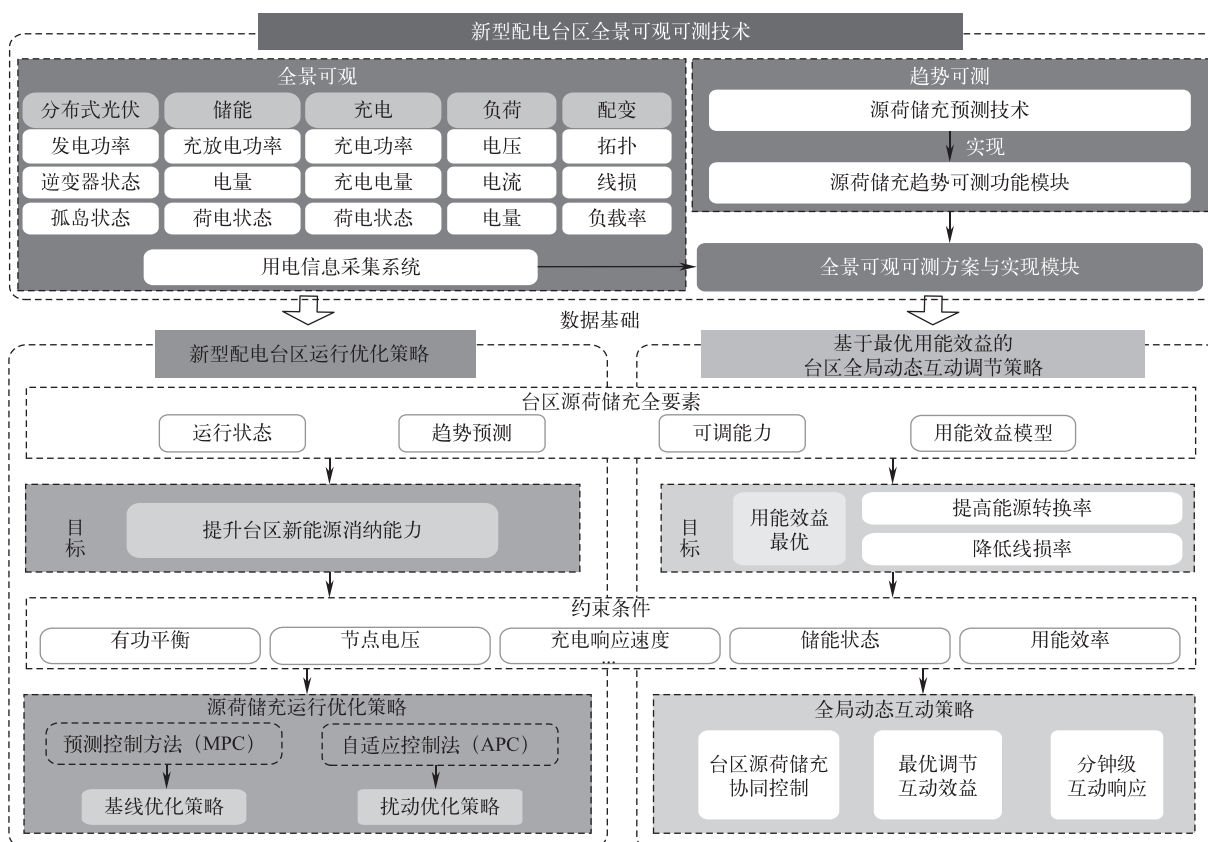


图 3 新型配电台区最优控制策略

Fig. 3 A new optimal control strategy for distribution station area

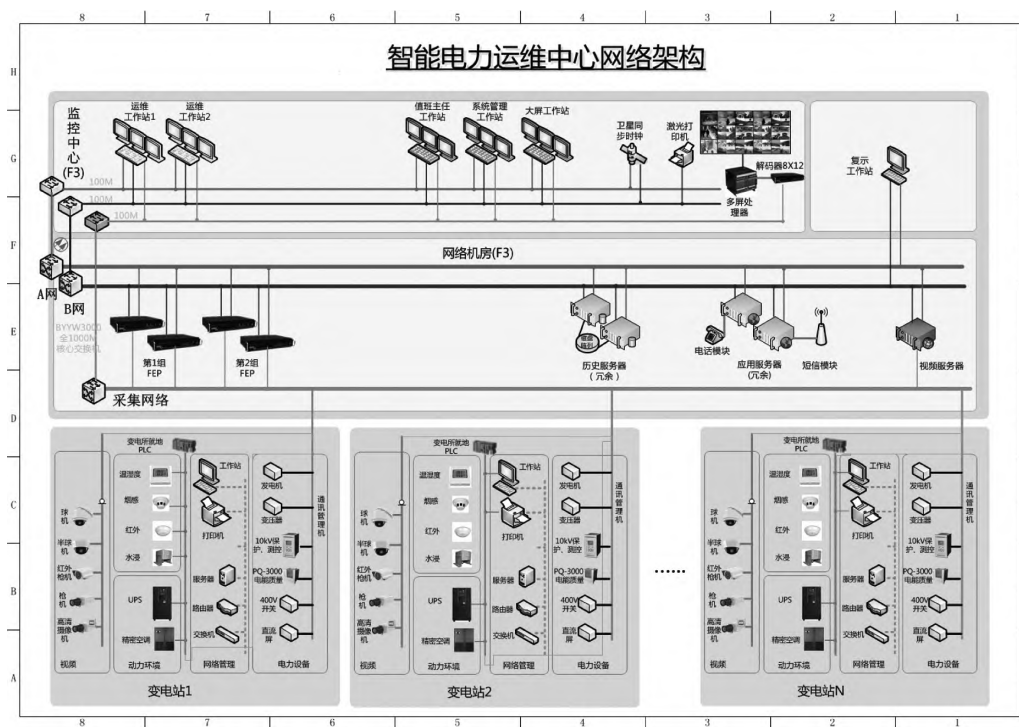


图 4 新型配电台区运维系统架构

Fig. 4 Architecture of new distribution station area operation and maintenance system

针对分布式配电台区进行集中代运维,需要采集现场电力数据、环境数据和视频监控,在涉及现场远程操控的情况下,必须使用有线VPN光纤专用网络,该网络传输方式相对无线传输价格较高,可充分保证数据传输的可靠、稳定和安全。

针对智能用电平台建设,需求侧管理的企业用户只需采集现场电力数据,如遥测和电量的情况下可采用无线传输方式,使用DTU与GPRS传输终端。系统网络可以通过加装硬件防火墙和软件防火墙与外界网络进行物理隔离,以保证网络系统的安全。

### 3.2 运维平台主要功能

#### (1) 总体用能监测

在地图上标示所有企业和配电站的地理位置。通过采集企业和配电站的经纬度,将配电站和企业显示在地图上,掌握区域企业的接入情况、具体位置及其分时段用电量。

#### (2) 企业用能概况

统计该企业的变压器台数、容量和监测点数量等基本信息,统计企业的负荷情况、用电量情况,实时显示接入企业的负荷曲线,以柱状图显示企业当月的用电情况。

#### (3) 电能在线分析

构建配电站一次拓扑图,实时刷新各路监测点以及变电站环境的实时信息(如电压、电流、功率因数、变压器温度和变电站温度等),统计分析企业每条支路的电能质量,如电压偏差、三相不平衡和谐波畸变率等情况。

#### (4) 报表服务

利用远程抄表方式,自定义用户抄表的起始时间、截止时间,计算抄表的起始表计值、截止表计值、用电量和损耗等。生成用户日、月、年电量报表。

#### (5) 重要指标分析

对企业的每台变压器的负荷比、能耗效率和损耗进行统计分析,并以曲线图的形式展示,直观地显示趋势变化情况。

## 4 场景验证

以重庆某山区工程试点为例,通过配电简易台区的建设,有效缩短建设周期,减少投资成本,常规配电台区建设模式与本文所提简易台区建设模式各参数对比见下表。

表 不同配电台区参数对比

Tab. Comparison of Parameters indifferent distribution stations

| 项目                     | 常规变电站          | 简易变电站                         |
|------------------------|----------------|-------------------------------|
| 布置方式                   | 户内布置,进线1回,出线8回 | 35 kV 进线、主变压器、10 kV 出线“一字”形排布 |
| 总体投资 / 万元              | 500            | 128                           |
| 年运行损耗 / kW·h           | 13 490         | 11 983                        |
| 面积利用率 / m <sup>2</sup> | 150            | 282                           |

在不影响正常功能的前提下,通过关键通信控制业务,既保证了数据共享的实时性和数据唯一性,又减少了配电网主站系统的维护工作量,提高了工作效率和配电网供电可靠性。除此之外,本文所提台区智慧运维模式可以与配电网其他设备进行关联,如图5所示。

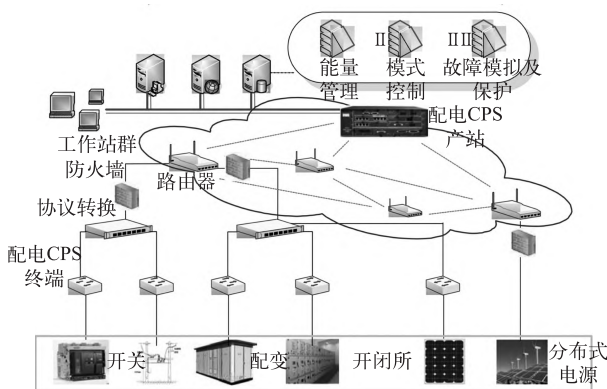


图5 配电台区与配电网设备交互

Fig. 5 Interaction between distribution station area and distribution network equipment

#### (1) 有效提升用户用电质量

配电站智慧运维服务中心的构建与实施,极大提高用电客户的供电可靠性,减少用户设备故障次数,缩小事故范围,缩短事故时间,为用户侧电气设备快速恢复供电、提升用电质量提供有

力的服务支撑。

## (2) 有效提升企业管理效率和经济效益

系统可以为用户侧电气设备检修提供策略选择,避免所有电气设备按固定期限进行检修,从而节省大量人力物力,促使设备检修的针对性更强,将故障检修变为状态检修,人工巡检变为自动故障保修,减轻企业电工的劳动强度,减少企业用工成本。为定量计算主动配电网投资的经济效益,需要完善和规范供电能力提高水平和网损降低水平的计算方法,正确判定主动配电网的建设时机。

## 5 结束语

本文所提的35 kV配电台区简易建设模式,在充分考虑成本与技术条件限制的基础上,构建面向山区多类型用户应用的35 kV配电台区。实现配电台区一体化监测感知、接入配置、源荷协同、用能互动与协同控制等功能的落地,支撑以新能源为主体的台区建设进程,提升台区就地消纳能力。

通过智慧台区试点建设和应用推广,有效降低电网高峰时段的调峰压力,延缓配电台区建设投资,提高配电设备利用率,降低台区弃能率,提升台区供电经济性。本方案具备完善的调节、控制手段,即建有基于现代计算机技术与通信技术的量测、控制与保护系统,具有较高的可观可控水平,充分挖掘台区可开放容量潜力,提高区域新能源占比,减少CO<sub>2</sub>排放。

### 参考文献

- [1] 曾昭洁. 农村配电台区低电压治理技术方案探讨[J]. 电气技术与经济, 2021(5): 58-61.
- [2] 万茂辉, 万世洲. 丘陵山区低密度负荷区域低

电压分析治理探讨[J]. 科学大众: 科技创新, 2020(3): 1.

- [3] 吴文焰. 农网智能配电台区建设研究[J]. 电气应用, 2013(S1): 34-36, 41.
- [4] 张明龙, 钱健, 王健, 等. 基于台区智能终端的智能配电台区架构研究[J]. 电气应用, 2020, 39(8): 27-31.
- [5] 唐炳, 尚明远, 林茵茵, 等. 基于配电网灵活性需求评估的投资方法研究[J]. 电气应用, 2021, 40(12): 37-42.
- [6] 刘凯, 李镇海, 吕利, 等. 基于聚类分析的配电台区拓扑识别方法[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(6): 165-171.
- [7] 唐冬来, 郝建维, 刘荣刚, 等. 基于动态规划的配电台区三相负荷不平衡治理方法[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(21): 58-66.
- [8] 王俊融, 欧家祥, 黄仁金, 等. 配电台区三相动态平衡控制技术研究[J]. 电子器件, 2020, 43(2): 267-272.
- [9] 刘晨苗, 刘宗歧, 刘明华, 等. 适应季节性负荷的配电变压器与台区线路协调规划方法[J]. 现代电力, 2020, 37(3): 255-262.
- [10] 马滕肖, 孟祥鹤, 白星振, 等. 考虑规模化分布式光伏接入的配电网台区鲁棒优化规划方法[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021(2): 183-190.
- [11] 刘东奇, 曾祥君, 王耀南. 基于信息熵的智能配电变压器终端安全态势评估[J]. 南方电网技术, 2020, 14(1): 18-23.

### 作者简介

黄孝超(1978—), 男, 高级工程师, 研究方向: 电力工程技术。

(收稿日期: 2022-09-23)