

DOI: 10.7667/PSPC151442

基于智能台区的配电网经济运行及优化高级分析系统设计

汤毅¹, 程乐峰², 李正佳², 余涛², 莫芸¹

(1. 广州供电局有限公司番禺供电局, 广东 广州 510000; 2. 苏州华天国科电力科技有限公司, 江苏 苏州 215000)

摘要: 针对 10 kV 配电台区普遍存在的自动化程度低、运行状况无法远程监测等问题, 设计了智能台区的配电网经济运行及优化高级分析系统, 包括智能配电台区、IDTT 配电终端、通信网络和主站建设。在智能配电台区建设方面, 通过对原有配电台区的升级改造, 实现对配电台区的基本监测和分析功能, 并进一步设计了基于 ZJP-II 型配电终端的新型智能低压配电台区。重点阐述了 IDTT 智能配变终端的设计原理和主站的建设方案, 总结了所设计系统具备的功能。该系统通过对台区的运行状况进行实时监控, 对台区的负载率、可靠率、平衡率、负荷增长趋势等进行分析, 对台区发生的故障做出及时的反应, 从而实现对配电台区的智能化和精细化管理, 为运行管理单位进行配电台区升级改造提供了借鉴。

关键词: 配电台区; 智能化; 配电终端; 测控技术; 主站

Design of economic operation and optimization analysis system based on intelligent area power network

TANG Yi¹, CHENG Lefeng², LI Zhengjia², YU Tao², MO Yun¹

(1. Panyu Power Supply Bureau of Guangzhou Power Supply Bureau Co., Ltd., Guangzhou 510000, China;

2. Suzhou Huatian Power Technology Co., Ltd., Suzhou 215000, China)

Abstract: Aimed at problems such as low level of automation and failed remote monitoring operation status generally existed in 10 kV distribution network, an intelligent modification and construction scheme for distribution network is proposed and an advanced analysis system for economic operation and optimization of distribution network based on smart distribution area is developed, which mainly include smart distribution area, IDTT type of distribution terminal, communication network and main station construction. In respect of construction of smart distribution area, an upgrading and reconstruction scheme of original distribution area is given to realize basic monitoring and analysis function for it, and then further a new type of smart low voltage distribution area based on ZJP-II type of distribution terminal is designed. The design principle of IDTT smart distribution terminal and construction scheme of main station is elaborated, and the function of the proposed system is summarized. The system is designed for monitoring the operation of distribution area in real-time, and analyzing the load rate, reliability rate, balance rate and load growth trend of distribution area, then a timely response can be obtained to the faults of the station area, thus can realize comprehensive management and control of distribution area, and further realize its intelligent, refined and scientific management, which provides a reference for the operation and management unit to upgrade and transform the distribution area.

Key words: distribution area; intelligence; distribution terminal; measurement and control technology; main station

0 引言

配网经过十几年的发展, 一次、二次设备以及自动化系统都基本运行稳定、成熟, 但配网自动化主要关注馈线自动化、远程控制方面, 对 10 kV 线

路下的台区运行管理考虑较少, 尽管许多台区也安装了一些智能设备(TTU), 对配电台区进行基本的在线监测, 但没有从台区运行管理的角度实现对配电台区的综合分析、综合管理和控制等功能^[1-4]。文献[5]对中心城市大型电自动化实施方案进行研究, 并给出了大型案例应用的基本成果, 未涉及到 10 kV 以下的配电台区的建设方案; 文献[6]则针对

新型农村低压台区变终端无功补偿判据进行了方案研究,研制了一套具有多功能、高集成和低成本等优点的新型农网台变终端,并通过终端样机和模拟实验平台验证了新判据方案的合理性和有效性;文献[7]设计了一种采用GPRS无线通信的配电台区监测分析地理信息系统,但是主要实现的是对配电台区的在线监测和分析功能,难以实现对配电台区的综合管理和监控;文献[8]设计了基于图形界面的配电台区电能质量监测分析系统,图形化的操作界面友好方便,但是系统功能也只停留在电能质量监测方面;文献[9]则为计算低压配电台区理论线损和利用远程自动抄表系统提高管理线损水平,提出一种采用负荷电量计算低压配电台区理论线损的牛拉法,利用线路负荷曲线形状系数与平均负荷电流的关系和三相负荷不平衡线损修正系数建立以台区理论线损为变量的数学模型,可计算低压台区的理论线损,而且能够为识别不明线损提供信息。

在智能台区及其自动化系统建设方面,文献[10]基于智能台区的功能需求,设计了智能台区故障定位保护系统、智能台区系统和智能用户管理系统在内的三个部分,并对作为试验的传统台区的一、二次设备进行改造,搭建了智能台区的总体架构,并做了效益分析,系统测量数据可供电网公司开展各种方案的制定研究提供数据支持,但所搭建的系统仍是传统的台区自动化系统,未采用先进的智能终端数据采集设备,也并未对旧的台区系统进行升级改造的相关研究;文献[11]对智能台区统一数据平台和配电智能终端技术进行介绍,提出一种利用相间负荷调整型二级漏电保护器调整三相不平衡负荷的新技术,利用智能变终端计算三相电流不平衡值命令指定智能二级漏保护选开关动作,实现负载由负荷较重的相转至负荷较轻的相,使得该低压网络的三相负荷始终处于接近最佳平衡的状态,该方案在台区改造后对台区的三相负荷不平衡、电压合格率、供电可靠性等方面有显著提升,实现运维人员对台区环境的远程监控,虽然效果明显,但是只是实现了部分智能化的功能,在这方面,文献[12]基于孟津农网智能化项目实施及技术经济评价进行了研究,通过台区用电信息采集、智能配电台区建设、调配一体化和营配调管理模式优化等四个方面进行项目实施,提供了孟津农网的信息、自动化和互动化水平;文献[13]则针对农村台区电网营销配电调度管理模式优化进行了探讨,建立农村台区电网综合应用的营销-配电-调度(营配调)管理优化模式。

在智能台区数据采集和监控终端方面,文献[14]

开发了基于OMAPL138的智能台区终端,不仅可提升终端整体性能,其片内总线架构也解决了CPU之间通讯瓶颈的问题;文献[15-16]分别开发了基于 μ C/OS的智能台区监控终端和智能用电综合模拟平台展示方案及实现方案,可有效管理台区设备和运行状态,智能调节现场运行设备,实现台区智能、经济和可靠运行。

基于目前存在的问题,对配电台区进行智能化改造与建设,并构建基于智能台区的配电网经济运行及优化高级分析系统,能够对台区的运行状况进行实时监控;对台区的负载率、可靠率、平衡率、负荷增长趋势等进行分析;对台区发生的故障能够做出及时的反应,从而实现对配电台区的智能化、精细化管理。

1 系统整体结构设计

智能台区的配电网经济运行及优化高级分析系统主要包括智能配电台区、IDTT 配电终端、通信网络和主站等部分,系统整体结构如图1所示。

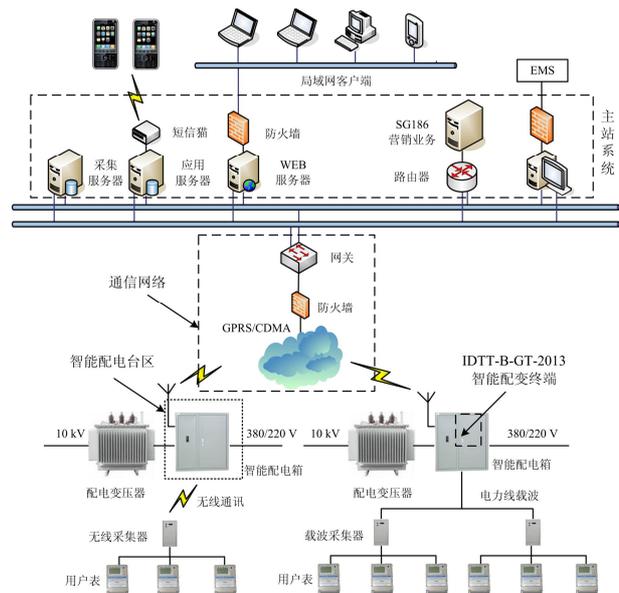


图1 系统整体结构

Fig. 1 The whole system structure diagram

根据图1,智能配电台区的建设主要包括如下几个方面内容:

(1) 智能配电台区的建设主要有对原有配电台区进行升级改造和采用新型智能综合配电台区两种方式,主体为配电箱;

(2) IDTT 智能配电终端位于配电箱内,其集成度高、技术先进、功能强大,用于配电变压器工况监测和用电管理;

(3) 通信网络采用远程通信信道 GPRS/CDMA 的无线通信网络^[17], 在 GPRS/CDMA 网络信息覆盖的地区均可使用;

(4) 主站主要对配电台区进行实时监控、管理、控制和维护, 其主要包括采集服务器、数据库服务器、应用服务器、工作站和 Web 服务器等。

2 智能配电台区建设

2.1 对原有配电台区的升级改造

基于目前配电台区的现状和需求, 首先, 考虑实现对配电台区的基本监测和分析功能(即对配电台区电压、电流、有功、无功、功率因数的监测和分析), 采用已经设计生产的壁挂式智能台区监控设备, 实现对原有配电台区的升级改造, 如图 2 所示。该方式投资小、性价比高。如果后期需要对配电台区进一步的升级改造, 实现诸如智能开关通信、谐波监测、计量、无功补偿、集中抄表等功能, 可依据实际情况分步实施, 对原有已实现的功能没有任何影响。这种改造方式安装方便、施工简单, 是目前台区智能化升级改造主要采用的方案^[17]。

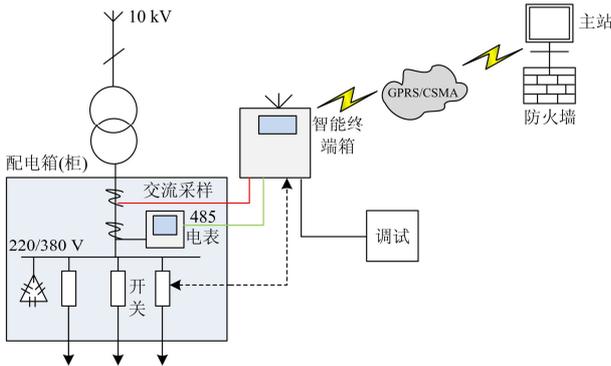


图 2 原有配电台区升级示意图

Fig. 2 Upgrade schematic diagram of original distribution area

2.2 基于 ZJP-II 的新型智能低压配电台区设计

若原有的智能配电箱无法满足电力发展的需求, 则需要对其进行更新^[16-17], 可采用已设计生产的 ZJP-II 配变终端, 设计智能型低压配电台区。

该设计的智能配电台区由智能保护开关、智能配变终端、总表、电容投切复合开关、无功补偿电容等组成, 具有紧凑型、集成化、智能化等特点。箱体采用不锈钢材质, 工作温度为 $-30^{\circ}\sim+85^{\circ}$, 并作防水、防尘、防潮等处理, 具有较高的 EMC 指标, 以适应强干扰的电磁环境^[18-20]。其中, 智能保护开关可实现短路保护、过载保护和剩余电流保护, 可实现重合闸功能, 同时可输出电流、电压、功率因数、剩余电流等相关数据, 具有可选通信接口, 实

现遥控开断、定值远方管理功能。智能配变终端是现场数据采集、处理、传输的中枢, 可采集低压母线上的电压、电流、有功、无功、功率因数等; 可采集开关数据、电表数据; 可实现自动无功补偿, 监测柜门、计量门状态; 可实现故障信息主动上送; 可实现远程控制、远程参数设置和远程维护等, 并通过 GPRS 网络和后台主站系统进行信息交互, 如图 3 所示。

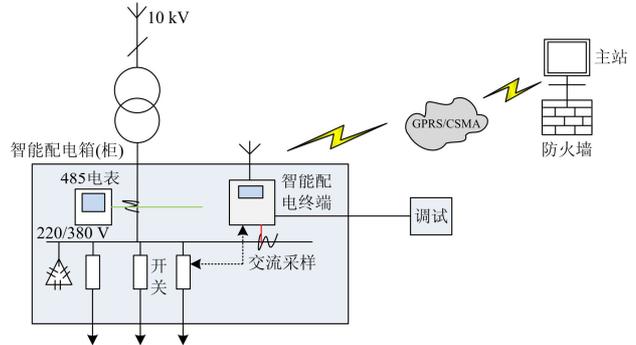


图 3 新型智能综合配电台区设计示意图

Fig. 3 New intelligent comprehensive distribution network area design diagram

3 智能配电终端设计

IDTT 智能配变终端采用先进的测控和 GPRS/CDMA 等无线网络通信技术, 能方便地实现对城、农网配电台区的信息的采集、处理和控制在终端集成度高, 体积小, 安装方便, 可集成到 JP 柜、箱式变、配电柜中。终端可对公用配电台区的各类数据进行采集、分析和存储, 并根据电网实时数据自动进行无功补偿和电能质量监测, 并通过通信对低压剩余电流断路器数据监测和控制, 通过载波通信进行居民电表抄录, 同时, 支持远程通信、远程软件升级和总表抄录等。

终端设计主要包括 9 个部分: 主控处理模块、通信模块、进线交采模块、出线交采模块、直流模拟量采集模块、无功补偿控制模块、输入输出模块、载波通信模块和电源模块, 终端结构框图如图 4 所示, 结合该图, 对其中几个主要功能模块介绍如下。

通信模块通过 GPRS/CDMA 网络与主站通信, 把终端的信息传递给主站, 并执行来自主站的命令。

交流采样模块分为进线交采模块和出线交采模块, 分别对进线和出线的电压、电流进行采集, 经取样电路分别取样后, 送至专用计量芯片, 再将得到的基本参数传送给处理模块。处理模块对各种数据进行统计分析后保存在处理模块的 Flash 芯片内等待主站召测, 同时处理模块也执行主站下发的命

令。处理模块还配备有标准的 RS232 接口以及红外接口, 供现场调试和维护。

终端可对配变计量总表以及用户电表进行数据采集。配变计量总表由终端通过 485 接口直接抄读, 而用户端的电表数据由采集器采集后通过载波送到终端, 终端的载波通信模块解调后将数据送至处理模块解析。

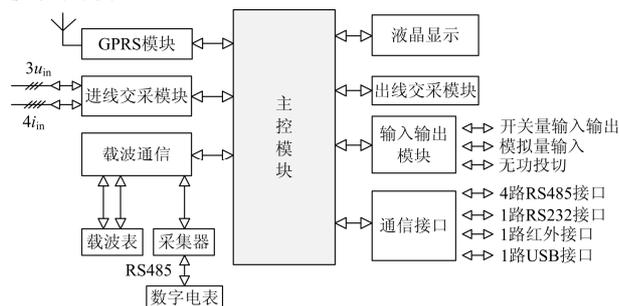


图 4 IDTT 型智能配电终端结构图

Fig. 4 IDTT-type of intelligent power distribution terminal structure diagram

4 主站建设

主站以 SCADA 的功能为基础, 以 C/S 和 B/S 的混合模式为架构, 以电网逻辑图结合地理信息图为数据展现方式, 实现对配电台区数据的自动采集、事项自动报警、负荷越限报警、远程控制、参数管理、负荷分析、三相不平衡分析和供电质量分析等, 从而实现对配电台区的智能化和精细化管理^[21-22]。系统组成如图 5 所示。

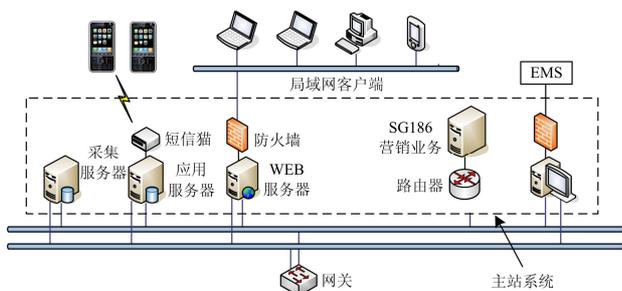


图 5 主站系统组成图

Fig. 5 Master station system composition diagram

主站系统的硬件配置包括: 采集服务器、数据库服务器、应用服务器、工作站和 Web 服务器。整个系统采用冗余数据库和网络结构, 采集服务器和应用服务器根据系统规模的大小可采用单机、双机热备、集群等多种方式, 系统基于分布式任务管理服务机制, 采用负荷均衡技术。系统内任何一台计算机故障均不会影响其他节点功能的实现, 系统的性能可通过增加计算机节点就可以轻松地完成, 系

统的扩容可通过人机界面进行配置就可以实现, 使系统具有很好的稳定性、可靠性和可扩展性。

4.1 采集服务器

采集服务器通过网络和智能配变终端进行通信, 实现规约的解析、原码到工程值的转换等数据采集任务, 并需要根据需要, 将解析后的数据发送给服务器或者直接存储到历史数据库供其他的服务分析和查询。如果需要采集的智能配变终端很多, 则采集服务器采用集群模式, 按片区分别进行数据的采集, 然后汇总到服务器和数据库中^[23-24]。

4.2 应用服务器

应用服务器完成的工作包括: 实时数据判别、计算和采样处理; 历史数据保存和检索; 告警的生成和事故的判断; 数据的各类统计和分析; 报表的处理; 基于基本数据和统计分析数据生成优化运行措施及改造方案。应用服务器根据需要处理信息的大小、功能模块的多少和客户要求的性能等方面进行相应的扩展, 如在大型系统中, 配置服务器集群可快速实现各种分析和功能模块的处理。

4.3 Web 服务器和客户端

根据技术的发展和用户的实际需求, 对配电台区的监控、管理逐渐由 C/S 模式转变 B/S 模式, 因此 Web 服务器的发布和互动功能将实现工作人员站和操作员站上需要实现的全部功能, 使连接在 MIS 网的各 Web 客户端根据授权通过 IE 等浏览器工具监测配电台区的实时、历史信息, 实现基于 Web 的控制和设置操作等^[25]。

Web 客户端可实现: 系统的运行维护和配置修改; 电网一次接线图等各类实时、非实时画面和表格的显示; 实时遥测、遥信等数据的显示; 遥控和漏电参数设置、保护投退等操作, 并记录、打印; 查看电网一次、二次设备参数、保护定值及其他相关信息; 实时文字、声音告警, 事件顺序记录等告警信息的记录和打印等。Web 客户端全功能的实现, 方便了系统的维护、部署和用户的使用。

4.4 短信猫

根据用户定义, 系统可将关键的台区运行信息, 如配电台区失电、超负荷等信息, 及时通过短信猫以短信的方式发送到相关人员的手机上^[26], 以便对电网运行故障做出及时响应, 提高对异常情况处理的时效性。

5 系统实现功能概述

基于智能台区的配电网经济运行及优化高级分析系统具备配电监测功能、远程控制和维护功能、配变特性分析功能、负荷分析功能、告警功能、巡

视到位监测功能、报表功能、权限管理功能、互联功能和配变智能终端维护功能等。这些功能的实现主要依据终端数据采集端子采集的低压台区用户用电数据,包括电源侧三相电压($U_A/U_B/U_C$)、进线交采端三相电流($I_a^+/I_a^-/I_b^+/I_b^-/I_c^+/I_c^-$)、出线交采端 1 每路 3 相电流值($I_{ai}^+/I_{ai}^-/I_{bi}^+/I_{bi}^-/I_{ci}^+/I_{ci}^-$, $i=1,2,3$)、出线交采端 2 每路 3 相电流($I_{aj}^+/I_{aj}^-/I_{bj}^+/I_{bj}^-/I_{cj}^+/I_{cj}^-$, $j=4,5,6$)和出线交采端 3 每路 3 相电流($I_{ak}^+/I_{ak}^-/I_{bk}^+/I_{bk}^-/I_{ck}^+/I_{ck}^-$, $k=7,8,9$)等,还包括一些数字输入 DI(DI1~DI16, 4 个 DI-)口数据、数字输出 DO 告警 RS485 端口数据、电容器电流模拟量数据、以太网端口数据和电容投切端口数据等,这些数据可被智能配电终端实时采集,并通过 GPRS/CDMA 方式与主站系统进行数据通信,智能配电箱(柜)内各电压、电流数字端子与智能配电终端各端口连接,如图 6 所示为智能配电终端各端子示意图。

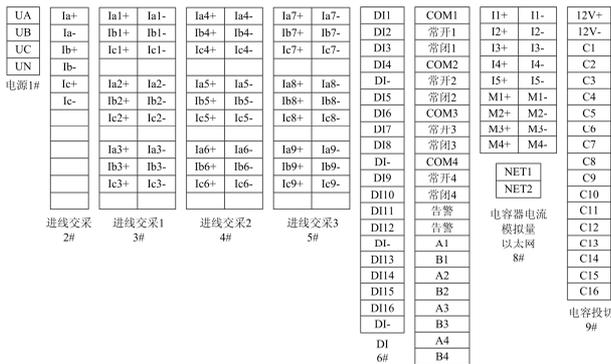


图 6 智能配电终端各端子示意图

Fig. 6 Each port of smart distribution terminal diagram

如图 7 所示为配变终端开机界面,显示信息包

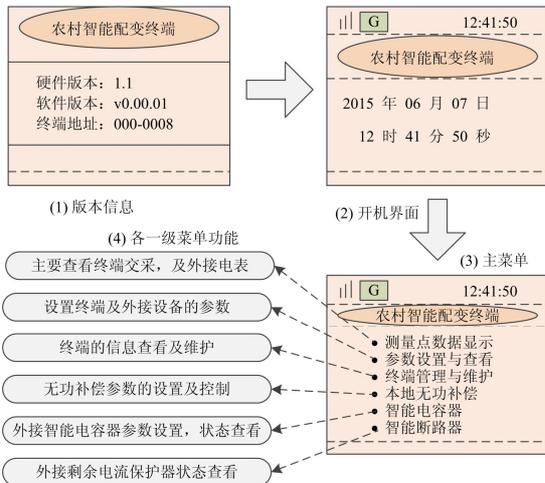


图 7 智能配变终端软件界面

Fig. 7 Software interface of the smart distribution terminal

括终端名称、硬件版本、软件版本和终端信息等。按任意键进入智能配变终端主菜单,包括 6 个一级菜单:测量点数据显示、参数设置与查看、终端管理与维护、本地无功补偿、智能电容器和智能断路器。通过这 6 个一级菜单可实现终端交采及外接电表查看、终端及外接设备参数设置、终端信息查看及维护、无功补偿参数设置及控制、外接智能电容器参数设置及状态查看、外接剩余电流保护器状态查看等功能,这些功能为智能台区的配电网经济运行及优化高级分析系统的下述功能提供了丰富的用户用电数据收集和状态信息查看。

基于图 6 和图 7,基于智能台区的配电网经济运行及优化高级分析系统具备的主要功能可简述如下。

(1) 配电监测功能

监测台区的三相电压(U)、三相电流(I)、分相有功/无功、总有功/无功、功率因数、零序电流、配电箱门状态、环境温度、低压开关状态和漏电电流等,并计算和统计各个数据量的最大值、最小值以及出现的时间,并对测量的数据以曲线、表格和报表等形式展示,如图 8、图 9 和图 10 所示。

以上数据的采集由智能配变终端采集并存储。

主站可实时召测智能配变终端采集的实时和历史数据,也可召测最近 30 日的历史采样数据。后台召测终端的方式支持自动定时召测、手动召测和自动补召 3 种方式。定时召测的时间由用户设定,默认为每 5 min 召测一次数据。用户也可在任何时间从主站手动召测当前的数据。当自动定时召测历史数据失败时,系统能够自动按照用户设定的策略自动补召,如补召失败,则提供补召失败清单。

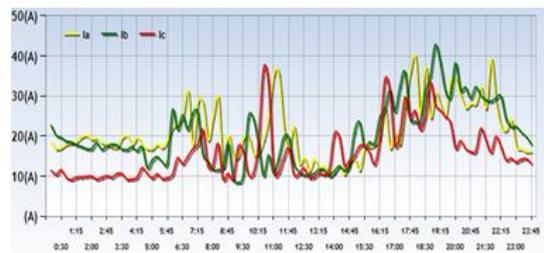


图 8 三相电流日曲线图

Fig. 8 Diagram of three-phase current daily curve

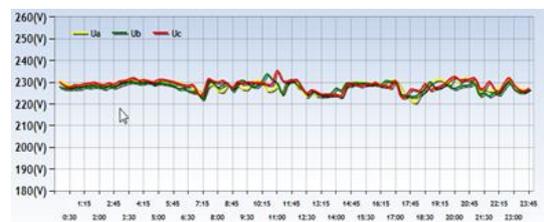


图 9 三相电压日曲线图

Fig. 9 Diagram of three phase voltage daily curve

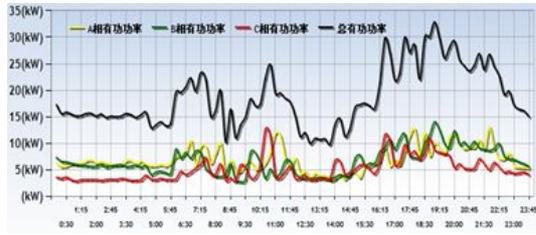


图 10 三相有功及总有功功率图

Fig. 10 Diagram of three-phase active power and total active power

(2) 远程控制和维护功能

通过无线通信, 主站可远程设置终端的各种运行配置参数, 可远程实现对终端程序的升级。通过终端的通信扩展功能和智能开关通信, 主站可实时读取开关的状态和保护是否动作等信息, 同时后台的控制、设置命令经终端转发给开关, 实现在授权允许下的远程开关分合闸, 远程保护定值的限值设置和保护投退设置等^[27]。从而实现对低压出线的监控管理、提高配电台区运行效率和降低维护费用。

(3) 配变特性分析功能

监视和管理所有配电变压器的运行状况、跟踪配变的负载变化以及对影响配变特性的主要指标(不平衡率、电压合格率、重载率、配变铁损、铜损和零序电流等)进行连续的横向、纵向的特性跟踪、显示和分析, 各项分析计算如下。

(a) 配电变压器的电压合格率

配电变压器的电能质量直接关系到用电用户, 而且是电压波动很大、线路损失较高和低压供电半径长, 造成了较大的电压降, 国家标准规定: 供电电压 10 kV 及以下的三相供电电压不能超过额定电压的 $\pm 7\%$, 220 V 电压不能超过额定电压的 $+7\%$ 和 -10% , 电压偏高时, 变压器铁损增加, 电压偏低时, 变压器铜损、线路损耗增加, 因此电压合格率直接影响到配电变压器的优化运行^[28]。配变分析功能可有效分析电压合格率, 合格时间, 电压最大值、最小值及其发生时间等。

(b) 配电变压器三相负荷不平衡度

我国城乡配电网中普遍存在三相不平衡, 配变的三相不平衡运行会造成部分变压器运行不经济、变压器故障率高、个别台区电压变化大, 甚至烧损用户设备。三相负荷不平衡度的定义为: 相的最大负载减去三相的平均负载, 再除以三相平均负载值, 其计算公式为:

$$D_p = \frac{I_m - I_p}{I_p} \quad (1)$$

式中: I_A , I_B 和 I_C 为三相相电流, $I_p = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}$,

I_m 为分相最大负载电流, I_p 为三相平均负载电流。

通过该项功能可有效地分析三相不平衡程度、不平衡最大值、发生时间、严重不平衡总时间和严重不平衡时段, 并生成统计图表, 为负荷调整提供依据。

(c) 配电变压器的零序电流^[29]

配电变压器采用 Y/Yn₀ 接线, 由于三相负载不平衡, 零序电流可通过中性线与变压器形成回路, 产生变压器附加损耗, 导致变压器温升增加, 危及变压器安全和寿命, 因此, 配电变压器在运行过程中, 中性线上的电流不能超过变压器额定电流的 25%, 并且当零序电流超限时, 应及时发出告警。

(d) 配电变压器电流重载率

配网负荷直接影响到配电变压器的安全和使用寿命, 若其长期过负载, 则将引起配变绕组温升增加和油温升高, 促使油质变坏和绝缘降低, 同时也促使线圈绝缘及铁芯片间绝缘老化, 从而缩短其寿命, 甚至烧坏配电变压器。

因此, 通过统计配变的电流重载率可以反映变压器的安全运行情况^[29]。规定 A、B、C 三相中任意一相电流超过电流重载阈值, 则记为重载一次, 这样电流重载率定义为

$$\eta_{czz} = \frac{n_{zz}}{n_{ABC}} \quad (2)$$

式中: η_{czz} 为电流重载率, n_{zz} 为电流重载次数, n_{ABC} 为三相电流综采集点, 电流重载率 η_{czz} 的阈值为配变额定电流的 70%, 即: $I_{th} = I_N \times 70\%$ 。

(e) 配电变压器的经济运行分析^[29, 30]

在配电变压器的经济运行过程中, 由于其有功损耗和无功消耗率都是随着负载非线性变化, 变化的非线性曲线始终存在一个最低点, 称为经济负载系数。国家标准 GB/T13462-1992《工矿企业电力变压器经济运行导则》提出了变压器经济运行区和变压器经济运行区的优选运行段(即最佳经济运行区)的概念, 将变压器的运行区间划分为最佳经济运行区、经济运行区和最劣运行区。

变压器的运行区间的确定方法^[29-31]: 最佳经济运行区为: $1.33\beta_j \leq \beta \leq 0.75$; 经济运行区为: $\beta_j^2 \leq \beta \leq 0.75$; 最劣运行区为: $0 \leq \beta \leq \beta_j^2$; 其中, β 为配变的负载率, β_j 为经济负载系数, $\beta_j = p_0/p_k$ 。这样根据配电变压器处于各个运行区的时间就可以评价配电变压器的经济运行情况。

(f) 配电变压器的空载损耗和负载损耗

在 10 kV 城乡配电网中，变压器主要损耗包括两部分：空载损耗和负载损耗，这些损耗约占配网总损耗的 50%，比例相当高，不可忽略，尤其在用电低谷，负荷少，运行电压高，则空载损耗更大，十分不利于配电变压器的优化运行。

因此，利用指标数据对目标配电变压器指定的时间范围内的各项指标进行分析、排序和比较，经过这样的操作后，配电变压器的所有运行指标中的主成分进行进一步分析，找到影响配变的综合主成分，从而可以得到对各台配变的综合指标排序。

(4) 负荷分析功能

系统通过对采集的配变数据的分析，充分掌握负荷变化情况，及时调整电力营销策略，根据数据的可获得程度和应用的方便性，扩展出比较适合负荷管理系统特性的负荷特性分析指标加以应用。

负荷特性分析包括负荷特性指标和负荷曲线。常用的指标有：最大负荷、最小负荷、平均负荷、负荷曲线和负荷率。各项指标可以分为日、月、年度分析，包括：利用采集到的配变负荷信息，提供对配变负荷的欠负荷、重负荷、过负荷时间和次数的统计；对配变负荷进行同比、环比分析；按供电局所辖供电所进行台区总负荷、平均负荷和区域负荷分析等，负荷分析图如图 11 所示。



图 11 负荷分析图

Fig. 11 Diagram of load analysis

(5) 告警功能

系统具有门禁告警、过负荷告警、过电流告警、过(欠)电压告警、电压(电流)三相严重不平衡告警、变压器电压断(缺)相告警、零序电流偏大告警、漏电电流过大告警、终端故障告警、变压器停电(上电)告警、遥测量超出指定的限值告警(如电流、电压、温度等)、通信通道不正常告警和系统进程异常告警等。

告警的方式有图形报警、文字报警和音响报警等；告警可打印，也可通过短信发送到相关人员的手机上。告警存储到历史数据库中，用户可根据类型、区域、时间等条件进行告警的查询和打印。

(6) 巡视到位监测功能

通过条码或 RFID 标签，使用 PDA 或智能手机进行条码扫描定位，以此来监测巡视人员在巡视过

程中是否到变压器、配电箱部位进行巡视检查^[30-31]。并对巡视人员的巡视轨迹和到位时间进行查看和回放，提高对配电设备巡视的管理能力和水平。

(7) 报表功能

系统支持兼容 Excel 的多种报表，可使用 Excel 模板生成用户所需要的报表，使用方便，数据定义灵活，报表内部具有统计、公式计算功能，支持图表合一功能。常用的报表包括：台区运行数据报表、电流统计日报、电流统计月报、电压统计日报、电压统计月报、电流日报、电压日报、电流月报、电压月报、电度日报、电度月报、有功功率日报、无功功率日报、功率因素日报、自定义报表等。可对生成的报表进行打印，也可将生成的报表导出为 Excel 文件进行保存。

6 结论

本文通过设计智能台区的配电网经济运行及优化高级分析系统，提出了低压台区配网升级改造方案，并设计了基于 IDTT 型配电终端的新型智能配电台区，结合通信网络和主站建设，可实现对配电台区的运行状况实时监测，完成配电监测、远程控制和维护、配变特性分析、负荷分析、告警、巡视到位监测和报表等功能。该系统可对台区的负载率、可靠率、平衡率和负荷增长趋势等进行分析，对台区发生的故障做出及时的反应，解决了配电台区自动化程度低、运行状况无法远程监测等问题，为运行管理单位实现配电台区的精细化管理提供科学、先进的技术手段，具有一定的借鉴意义。

参考文献

[1] 黄学良, 刘志仁, 祝瑞金, 等. 大容量变速恒频风电机组接入对电网运行的影响分析[J]. 电工技术学报, 2010, 25(4): 142-149.
 HUANG Xueliang, LIU Zhiren, ZHU Ruijin, et al. Impact of power system integrated with large capacity of variable speed constant frequency wind turbines[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(4): 142-149.
 [2] 俞刚, 王辉东, 徐晓影, 等. 三相四线制台区电网的状态估计模型[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(23): 79-84.
 YU Gang, WANG Huidong, XU Xiaoying, et al. State estimation model for three-phase four-wire area load[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(23): 79-84.
 [3] 国家电力监管标准化委员会. GB/T 19963-2011 风电场接入电力系统技术规定[S]. 北京: 中华人民共和国质

- 量监督检验检疫总局, 2011.
- State Electricity Regulatory Commission of People's Republic of China. GB/T 19963-2011 technical rule for connecting wind farm to power system[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2011.
- [4] 沈兵兵, 吴琳, 王鹏. 配电自动化试点工程技术特点及应用成效分析[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 27-32.
- SHEN Bingbing, WU Lin, WANG Peng. Distribution automation project technical features and application results[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(18): 27-32.
- [5] 沈郑毅, 刘天琪, 洪行旅, 等. 中心城市大型配电自动化设计方案与应用[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 49-53.
- SHEN Zhengyi, LIU Tianqi, HONG Xinglü, et al. Design and application of center city distribution automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(18): 49-53.
- [6] 张志文, 张洪浩, 黄际元, 等. 新型农网台变终端无功补偿判据方案的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(15): 116-121.
- ZHANG Zhiwen, ZHANG Honghao, HUANG Jiyuan, et al. Research on reactive power compensation criterion program for a new type of rural power station transformer monitor and measurement terminal[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(15): 116-121.
- [7] 李国庆, 张世栋, 张世明, 等. 基于组件的配电台区监测分析地理信息系统的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(10): 102-105, 122.
- LI Guoqing, ZHANG Shidong, ZHANG Shiming, et al. Design of distribution area monitoring geographic information system based on component[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(10): 102-105, 122.
- [8] 李国庆, 王振浩, 李宏仲, 等. 基于图形界面的配电台区电能质量监测分析系统的设计与实现[J]. 继电器, 2004, 32(2): 49-52.
- LI Guoqing, WANG Zhenhao, LI Hongzhong, et al. Design and implementation of distribution area power quality monitoring system based on the analysis of graphic interface[J]. Relay, 2004, 32(2): 49-52.
- [9] 刘庭磊, 王韶, 张知, 等. 采用负荷电量计算低压配电台区理论线损的牛拉法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(19): 143-148.
- LIU Tinglei, WANG Shao, ZHANG Zhi, et al. Newton-Raphson method for theoretical line loss calculation of low-voltage distribution transformer district by using the load electrical energy[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(19): 143-148.
- [10] 黄龙. 智能台区及其自动化系统构建方案的研究与应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- HUANG Long. Construction scheme and applications of smart distribution transformer region and its automation[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [11] 高甲勇. 关于农村配电台区的智能化研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.
- GAO Jiayong. Research on intelligent about the rural power distribution area[D]. Jinan: Shandong University, 2014.
- [12] 任幼逢. 孟津农网智能化项目实施及技术经济评价研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- REN Youfeng. Research on the implementation of rural power grid intelligent project and technical and economic evaluation of Mengjin[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [13] 翟长国, 黄小铄, 叶剑斌, 等. 农村电网营销配电调度管理模式优化的探讨[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(3): 101-105.
- ZHAI Changguo, HUANG Xiaoshu, YE Jianbin, et al. Marketing-distribution-dispatch management model optimization for country grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(3): 101-105.
- [14] 岳仁超, 孙建东, 刘晓铭. 基于 OMAPL138 智能台区终端的建设[J]. 自动化与仪器仪表, 2014, 21(5): 44-45, 49.
- YUE Renchao, SUN Jiandong, LIU Xiaoming. Construction of smart distribution area terminal based on OMAPL138[J]. Automation & Instrumentation, 2014, 21(5): 44-45, 49.
- [15] 任彬, 方斌斌. 基于 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 的智能台区监控终端设计[J]. 中国新技术产品, 2013, 19(21): 6.
- REN Bin, FANG Binbin. Design of intelligent distribution area monitoring terminal based on $\mu\text{C}/\text{OS}$ [J]. China New Technologies and Products, 2013, 19(21): 6.
- [16] 邵瑾. 智能用电综合模拟平台的设计与实现[D]. 北京: 华北电力大学, 2010.
- SHAO Jin. Design and implementation of intelligent electricity consumption integrated simulation platform[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2010.
- [17] 赵江河, 陈新, 林涛, 等. 基于智能电网的配电自动化建设[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 33-36.
- ZHAO Jianghe, CHEN Xin, LIN Tao, et al. Distribution automation based on the smart grid construction[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(18): 33-36.
- [18] 姚致清, 赵倩, 刘喜梅. 基于准同步原理的逆变器并

- 网技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(24): 123-126.
- YAO Zhiqing, ZHAO Qing, LIU Ximei. Research on grid-connected technology of inverter based on quasi synchronous principle[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(24): 123-126.
- [19] 白峪豪. 基于智能配电网关键技术城市配电网规划[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(3): 79-83.
- BAI Yuhao. Urban power distribution network planning based on smart distribution network critical technologies[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(3): 79-83.
- [20] 董开松, 谢永涛, 贾嵘, 等. 面向主动式配网的微电网技术探究[J]. 高压电器, 2015, 51(6): 97-100.
- DONG Kaisong, XIE Yongtao, JIA Rong, et al. Research on microgrid technology for active distribution network[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(6): 97-100.
- [21] 陈新和, 赵维, 张兴, 等. 智能配电台区应用功能及其配置[J]. 农村电气化, 2014, 21(2): 37-38.
- CHEN Xinhe, ZHAO Wei, ZHANG Xing, et al. Intelligent power distribution area application function and its configuration[J]. Rural Electrification, 2014, 21(2): 37-38.
- [22] 姚致清, 于飞, 赵倩, 等. 基于模块化多电平换流器的大型光伏并网系统仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(36): 27-34.
- YAO Zhiqing, YU Fei, ZHAO Qian, et al. Simulation research on large-scale PV grid-connected systems based on MMC[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(36): 27-34.
- [23] 姚致清, 张茜, 刘喜梅. 基于 PSCAD/EMTDC 的三相光伏并网发电系统仿真研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(17): 76-81.
- YAO Zhiqing, ZHANG Qian, LIU Ximei. Research on simulation of a three-phase grid-connected photovoltaic generation system based on PSCAD/EMTDC[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(17): 76-81.
- [24] 郝思鹏, 邹添天, 陈婷, 等. 农网配电台区智能监控系统研发[J]. 电测与仪表, 2014, 51(23): 94-98.
- HAO Sipeng, ZOU Tiantian, CHEN Ting, et al. Research and development of intelligent monitoring and control system of rural electric power distribution area[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014, 51(23): 94-98.
- [25] 刘健, 赵树仁, 张小庆. 中国配电自动化的进展及若干建议[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(19): 6-10, 21.
- LIU Jian, ZHAO Shuren, ZHANG Xiaoqing. The progress of the distribution automation in China and some suggestions[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(19): 6-10, 21.
- [26] 刘健, 林涛, 赵江河, 等. 面向供电可靠性的配电自动化系统规划研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(11): 52-60.
- LIU Jian, LIU Tao, ZHAO Jianghe, et al. Study for power supply reliability of distribution automation system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(11): 52-60.
- [27] 何卫斌. 配电自动化改造方案研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- HE Weibin. Research on reform plan of distribution automation[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [28] 李涛. 配电网经济运行决策措施的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- LI Tao. Study on decision making for economic operation in distribution system[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2007.
- [29] 王晓勇. 配电自动化系统中通信网络的规划与组建[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.
- WANG Xiaoyong. Planning and construction of communication network in distribution automation system[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2013.
- [30] 刘东, 丁振华, 滕乐天. 配电自动化实用化关键技术及其进展[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 16-19.
- LIU Dong, DING Zhenhua, TENG Letian. Distribution automation practical key technology and progress[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7): 16-19.
- [31] 刘东, 丁振华, 滕乐天. 配电自动化实用化关键技术及其进展[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 16-19.
- LIU Dong, DING Zhenhua, TENG Letian. Distribution automation practical key technology and progress[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7): 16-19.

收稿日期: 2015-08-16; 修回日期: 2015-10-10

作者简介:

汤毅(1973-), 男, 工程师, 主要从事电力管理工作; E-mail: tangyi_pygdj@163.com

程乐峰(1990-), 男, 通信作者, 硕士, 主要研究领域为配网自动化、电力系统分析、优化与控制等; E-mail: chenglf_scut@163.com;

李正佳(1972-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究领域为电力通信、电力系统行业等. E-mail: zjli@huatianpower.com

(编辑 姜新丽)