

[供配电系统]

智能配电系统的工程应用及智慧化展望

文/孙静 赵亮亮
中国航空规划设计研究总院有限公司

随着用户对供配电系统安全性、便捷性、可靠性的需求不断提高，传统型配电系统已无法满足用户的需求。电气设备不断更新换代、加之通信技术高速发展，智能化配电系统应用而生。以北京某循环经济产业园工程为例，首先对该工程供配电系统方案进行介绍，随后从系统构成、功能、配置等方面论述智能化配电在该工程的应用，指出该系统设计时应注意的问题，最后从用户侧需求、多功能集成等方面展望配电系统的智慧化前景。

目前，随着国家“双碳”战略的提出，我国经济已进入新的历史发展阶段，利用高新技术和绿色技术，建设资源节约型社会已成为必然趋势。智能配电系统结合传统的测量、监视和线上控制与信息化、大数据分析和服 务，将配电系统的智能单元互联互通，从而实现主动性高效维护、保障设备更加安全可靠运行。本文以智能配电系统在北京某循环经济产业园项目中的应用为利，介绍智能配电系统在工程应用中设置方案及需要注意的问题，对同类项目供配电系统的设计有指导意义。

背景

北京某循环经济产业园工程主要包括：处理规模5 100 t/d的生活垃圾焚烧厂（配置6台850 t/d焚烧炉和3台45 MW凝汽式汽轮发电机组及配套设施），处理能力为2 000 m³/d的渗沥液处理站，处理规模为1 200 t/d的炉渣综合利用厂，容积为363万m³的残渣飞灰填埋场，处理规模为80 t/d的医疗废物处理厂及其他生产附属厂房，以及综合楼、篮球馆和厂区足球场、绿地、道路等配套设施。

10 kV配电系统在产业园区中起着重要的供电枢纽作用，一方面为焚烧发电的厂用电供电；另一

方面为产业园区的生产附属厂房和配套设施供电。作为焚烧发电系统的10 kV厂用电采用了单母线三分段环网接线方式，3台发电机组的厂用电分支分别作为10 kV A、B、C三段母线的主电源，三段母线之间采用母联进行联络，母联设置快切装置（设定单方向进行投切）。另设两台高压柴油发电机组接入高压保安段，作为保安电源。在渗滤液厂房设置10 kV开闭站，布置10 kV渗滤液A段和B段，为附近的生产附属厂房供电。

焚烧发电厂有三个高低压配电室分别布置在主控厂房，两侧焚烧厂房。主控高低压配电室内设10 kV高压工作A段、10 kV保安段厂用配电装置、3台公用变压器及其380 V/220 V配电装置；两侧焚烧线配电间分别布置10 kV高压工作B段（或C段）、4台焚烧线变压器及其380 V/220 V厂用配电装置。另外，综合楼、医废处理厂、渗滤液厂、炉渣车间、冷却塔等附属厂房根据负荷性质及容量大小，均在相应厂房配电间内设置工作变压器及低压配电装置。

垃圾焚烧厂为整个循环经济产业园区的主体，中央控制室布置在焚烧厂主控楼13 m层。本工程体量大，供配电系统复杂，配电装置多而分散，计量和维护工作量较大，大大增加了运维人员的工作量。在节

能化、降人工、智能化的前提下，本工程设置一套智能化配电系统，全方位改善配电系统，实现智能监测、预防性维护、故障预测与诊断及绿色低碳运行。

智能配电系统的构架

根据智能配电系统的规划，一期工程为主厂房三个高低压配电室、发电机小间内的电气设备纳入智能化配电系统的监测范围。二期工程为其他附属厂房。一期工程主要监测的电气设备有中压断路器、框架断路器、有源滤波器、开关柜内主母排和多功能表。

1. 系统组成

本工程的智能配电系统有三层结构：（厂级）智能化配电系统监控平台、站级智能单元（主动运维单元）和智能配电设备。（厂级）智能化配电系统监控平台的工作站设置在中控室，方便运维人员就地查看、操作及集中管理。智能配电设备和站级智能单元接入工业级以太网交换机，通过监控系统光纤环网接入智能化配电系统监控平台。监测范围内的高低压配电间、发电机小间分别设置一台工业级以太网交换机，作为智能配电网的接口。在各配电室内设置一台智能化配电系统通信柜，柜内设置高、低压运维单元、通信管理及以及光电交换机等。根据智能配电设备的接入点位数量及运维单元容量，每个配电间配置一台一体化本地智能运维单元，网关及智能运维单元接入配电间总交换机。

2. 系统特点和功能

智能化配电系统监控平台可以实现中、低压一体化监测控制，智能化系统的特点和功能包括：①按照搭接式功能结构进行构架，可以实现模块化设计；②可以实现高、低压配电系统能耗持续监测、分析和管理的，实现能源利用效率的提升；③智能化系统对中、低压柜重要点位进行温度监测及预警；④通过通信采集多功能仪表参数，从而实现配电回路状态监控；⑤通过集成以太网接口，实时监测框架断路器的运行状态、故障报警及电气参数记录；⑥全天候连续监测高低压柜母排温度，提供异常温升的早期检测，当温度超过客户设定限制时，可发出系统报警，减少定期温度记录相关的成本和时间；⑦可集中监测系统能耗情况，支持客户自定义选择生成各类能耗报表功能。

智能化配电系统采用具有抗电磁干扰能力的网络技术组成局域网，实现高速数据传送，满足实时性要求，并且易于扩展，可靠性高。系统实现智能化稳定运行，具有自动报警、自动报表和在线自诊断功能。

3. 智能配电设备的配置

为实现配电系统的智能化管理，终端配电设备应选用智能化的配电设备。①10 kV断路器选用带有触臂嵌入式测温模块的智能型断路器，内嵌式温度传感器，可以监测断路器上、下触臂共6点温度，保证开关设备原有的绝缘性，免维护，确保安全、稳定地长期工作；②多功能仪表和测温模块能够通过网关接入就近的上级交换机；③框架断路器选用带以太网通信功能的智能型断路器，塑壳断路器分合及故障状态信息通过表计的 I/O端子上上传；④有源滤波柜的控制器均通过有线接入配电室内通信管理机；⑤高低压开关柜内的主母线搭接处安装三个无线无源测温传感器，如变压器与低压柜母排连接处，水平母排与水平或垂直母排搭接处等，再根据母线搭接点位数、配电柜平面布置以及无线测温接收装置容量，确定无线数据集中接收装置数量。

4. 站级智能单元功能及技术要求

站级智能单元（主动运维单元）具有通过大数据分析和机器学习算法的理论建模，结合历史数据和当前数据，对开关柜的整体状况进行评估，功能包括：

1) 主画面为开关室：开关设备的排列布置总览图、各开关室设备的温度。

2) 分画面为每台开关柜的综合信息分析页面：电流、测温等电气量参数趋势图（曲线显示）；三维动态旋转的开关柜立体图形，可及时清晰地了解开关柜的故障点位置、开关柜基础数据、运维状态、温度试图和负荷试图；报警功能，对开关柜的健康状态进行报警，比如超温报警等；监测和分析配电室能耗状况，充分掌控电能耗状况。

3) 站级智能单元（主动运维单元）是高、低压配电专家系统，提供专业的诊断管理软件，它负责监控关键电力的可用性，发布关于供电质量的告警信息，在发生停电故障时及时采取告警措施，帮助运维人员快速定位故障原因，以及安全检测，并安

全恢复供电。站级智能单元布置在高低配电室。

5. 智能化配电系统监控平台

监控平台的界面根据项目需求定制而成。本监控平台的主界面主要显示发电机出口断路器的电气参数、发电机出口仪表数据、发电机出口有功功率趋势、各厂电流谐波畸变率、厂用电数据监视等。配电布局界面可显示本工程各配电室内配电装置布置，10 kV及400 V系统则分别显示高低压系统各回路的接线图、电压、电流、有功、无功、功率因数以及高低压系统的温度监视等。

报警及数据分析界面可查询事件记录、报警记录、未确认报警等信息，并对整个配电系统进行数据分析。报表功能包括电能报表、运行报表、用电量报表等。能效视窗可直观得到各系统能效情况。网络架构图可显示本工程各配电室内接入智能配电系统的各设备。

智能化配电系统与电气综合自动化系统的关系

智能化配电系统主要聚焦于中低压配电网的智能化，增强末端灵活性，实现途径为：通过采集多功能仪表、断路器内置的仪表、感温探测器、湿度探测器等智能终端的数据，全面集中监测配电系统的运行状态。智能化配电系统可及时获得报警和针对报警的处理预案，提高配电系统的可用性和可靠性，大幅提升配电系统自动化程度，直接减少用户的相关人力成本的支出，全面且集中获取关键的能耗信息，帮助用户分析电能消耗状况，促进优化电能使用。

而电气综合自动化主要侧重于电力系统发电、输电以及变配电集成自动化控制,提供全局视角。两者密切相关,功能互补。智能化配电系统与电气综合自动化系统之间可数据互联,电气综合自动化系统可调用智能配电系统的智能电表数据、末端负荷信息、故障信号等数据,实现全局能源优化,故障快速定位。但需要注意的是,因两者之间网络安全等级不同,数据传输存在泄露风险,且两系统往往分属不同部门管理,数据调用需要协调权限、划分责任等,增加管理成本,为避免智能化配电系统对电气综合自动化系统的影响,通过设置防火墙可进行单相通信。

本工程采用的是施耐德智能配电系统，国产开

关制造厂也陆续推出智能化配电系统，如常熟开关制造有限公司推出的CGZ16.0智能型低压成套开关设备，配置新一代智能型断路器及CS-Smartlink智慧平台，也可实现配电系统智能化管理需求，具有较好的性价比。

智能配电系统应用展望

1. 园区或用户站侧

随着电气及自动化技术的不断发展,智能化配电系统功能未来将不断完善。从用户侧来说,主要影响因素包括用户选择和参与度、用户需要新的服务、费用成本、环境要求、节省人力、减少人为主观错误、减少操作和运行成本等方面。从配电系统来说,主要考虑因素包括配电系统的利用率、能源需求的改变、电能质量的改善、实时监测设备老化状态、提高配电系统的可靠性、改造环境对配电系统的影响以及优化配电系统故障恢复时间。从不同系统的集成方面来看,主要包括分布式能源配电系统、可再生能源配电系统和电动汽车充电桩等系统的接入,对提供综合能源效率、优化交直流系统的混用提供积极的作用。

2. 深度挖掘信息-电能质量

供电是工业、商业和居民生活中最重要的基础服务之一。这项基础服务必须一直持续且能够使用户的电气设备安全、良好地运行,满足高连续性、良好的电能质量等特点,任何导致变电站或用户终端设备故障或误动作的现象,在电气参数上主要表现为电压、电流或频率上的偏差问题,如图1所示。

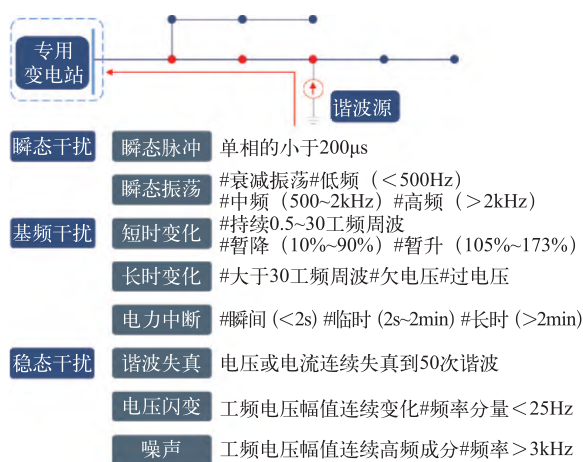


图1 电能质量

电能质量问题可分为三个类别。

1) 由用户产生并作用于自己电气设备的电能质量问题,主要是由于用电设备产生谐波、负载严重的三相电压不平衡、电气设备间的连接不良、输变电线路的故障和开关电源接入等导致。电能质量问题的本质是电压瞬变、电压暂降或暂升、电压不平衡、电压畸变等。由这类问题引起的电能质量问题可以归纳为瞬态干扰、基频干扰及稳态变化。

2) 由用户产生并作用于其他用户的电能质量问题,主要是由用户的电气设备产生的谐波带来的影响。

3) 由电力设备产生并作用于用户侧的电能质量问题,与电压调节装置、电力线路设计型式、变压器容量、电偿电容以及有源滤波装置的位置和容量等因素有关。电力设备应提供给用户具有恒定频率的纯正弦波形的理想电压。

将影响电能质量的用电设备、电力设备、线路等纳入智能化配电系统的监测范围,合理优化电气参数,将大大提高配电系统的电能质量。

3. 深度挖掘信息·配电损耗和节能管理

配电网络损耗可分为技术损耗和非技术损耗。非技术损耗主要为管理损耗,与计量类型、计量设备安装位置、计费系统误差、读数误差和非法窃电有关。技术损耗又分为固定损耗和可变损耗,固定损耗是指与负载无关的损耗,如变压器的空载损耗(铁损)、电抗器及电容器的不变损耗,主要包括磁滞损耗和涡流损耗,以发热或噪声的形式而损失掉。

可变损耗(负载损耗)与电流的二次方成正比,又称为线损。线损与配电系统网络结构、导线截面积、功率因数、用电设备功率以及分布式电源的设置有关。设计人员在工程设计阶段应采取有力的措施减少线路损耗。

智能化配电系统采集配电线路的电量数据,可采用基于大数据技术或无线传感器网络等技术实现远程智能抄表,有利于减少配电损耗,实现节能管理。未来,智能化配电系统可提供稳是可靠、高效安全的能耗管理平台,从配电系统各个环节缩减能耗管理的总成本,提高用户管理工作效率和智能化水平。

4. 深度智能·负荷预测/峰谷用电管理

未来,智能化配电系统可以进一步融合基于神经网络、模糊逻辑、专家系统的负荷预测技术,对短期、中期、长期负荷进行预测,以便用户做好电力生产、调配及营销工作,提高电力效率、推动综合能源发展具有积极影响。随着光伏发电、风力发电、餐厨发电等可再生能源的接入,智能化配电系统进一步深度智能,可以导入峰谷电价模型。

不同时段发电成本决定了电价水平有所差异,高峰负荷的增加会导致发、输电设备更多的成本投入,因而,高峰时段电价成本较高。如图2所示,某电网10 kV大工业,峰时电价为0.585元/kW·h,谷时电价为0.1494元/kW·h,平时电价为0.3672元/kW·h。随着储能技术的发展,用户具备一定调整用电时间和用电模式的能力,可以通过不同时段电价不同的导引作用,可实现峰时少用市政电、谷时多用电,也可以采取如谷时水蓄冷等综合能源措施,实现消峰填谷,一方面缓解电网用电紧张的局面;另一方面减少用户的用电成本,实现整个社会资源的优化配置。

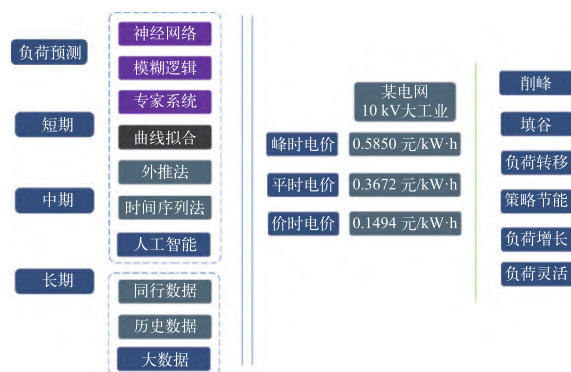


图2 负荷预测及管理

结束语

智能配电系统具有先进的工作性能,未来还可集成多种用户功能。相信随着电力技术进步和用户需求的提高,智能配电系统必将在各行业配电系统中获得广阔的应用空间,对于提高工作效率和供配电系统的自动化水平有着巨大的帮助。EA

(收稿日期: 2025-01-11)