[电网]

智能配电网概述

文/贵州大学电气工程学院　张华鑫

主要介绍智能配电网的概念和结构，与传统配电网相比，分析了智能配电网的优势，并从一次系统与二次系统两方面总结了智能配电网的主要技术内容。

配电网是电力系统配送电力能源到最终用户的网络命脉。作为电网的重要环节，配电网担负着电力系统与用户联系、向用户供应电能和分配电能的重要功能，在电力系统及电力系统自动化管理中占有非常重要的地位。近年来，世界各国加快了智能电网技术的发展，并有力地促进了电网的智能化。智能电网已成为未来电网发展的新趋势。

智能配电网概念

智能配电网就是以配电网高级自动化技术为基础,通过应用和融合先进的测量和传感技术、控制技术、计算机技术和网络技术、信息与通信等技术，利用智能化的开关设备、配电终端设备，在坚强电网架构和双向通信网络的物理支持以及各种集成高级应用功能的可视化软件支持下，允许可再生能源和分布式发电单元的大量接入和微网运行，鼓励各类不同电力用户积极参与电网互动，以实现配电网在正常运行状态下完善的监测、保护、控制、优化和非正常运行状态下的自愈控制,最终为电力用户提供安全、可靠、优质、经济、环保的电力供应和其他附加服务。智能配电网主要由主站系统、子站系统、通信系统和配电远方终端组成，通过应用配电网运行自动化技术、管理自动化技术、用户自动化技术、分布式电源并网控制技术和定制电力技术等，对配电网各个环节、模块和设备进行智能化，同时结合地理信息系统应用，实现正常情况下配电网与电力系统各个环节的协调和优化运行以及故障情况下的快速定位、隔离、恢复和负荷转移等功能，从而为用户提供优质可靠的电能，为电力企业提供便捷、高效的管理平台和途径，提高配电网的综合自动化水平、管理水平和电力市场化水平，进而实现电力企业管理者、电力用户和系统运行操作的协调和统一，其架构如图1所示。

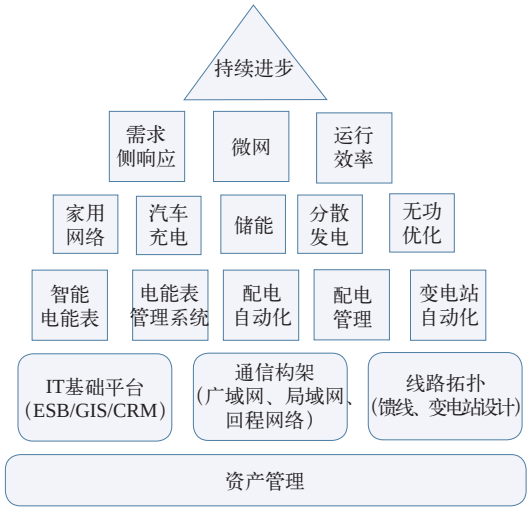

图1　智能配电网构架

智能配电网结构

1．智能配电网的结构

借鉴传统配电网结构并按照智能电网要求设计智能配电网，智能配电网主要由变电站、开关站、环网设备、柱上开关、微网（Micro-Grid，MG）、分布式电源（Distribution Generation，DG）、馈线、IDT、全球定位系统（Global Positioning System， GPS）和通信网络等组成。每个断路器或分段开关处均安装有电流互感器，且安装一台

IDT。智能配电网中的配电自动化（Distribution Automation，DA）改为高级配电自动化（Advanced Distribution Automation，ADA），ADA 包括高级配电运行（Advanced Distribution Operation，ADO）和高级配电管理（Advanced Distribution Management，ADM）两方面的技术内容。ADO 完成配电网安全监控与数据采集（Distribution Supervisory Control And Data Acquisition，DSCADA）、馈线自动化（Feeder Automation，FA）、电压无功控制和DG调度等实时应用功能；ADM 以地理图像为背景信息，实现配电设备空间与属性数据以及网络拓扑数据的录入、编辑、查询与统计管理。ADO 系统从 ADM系统中获取配电网属性与网络拓扑数据和线路出线断路器运行信息，通过向开关传送操作命令，配合IDT 实现故障定位、隔离和供电恢复。高级配电运行（ADO）系统结构如图2所示。变电站与 IDT 通过光纤以太网构成一个分布式控制系统。

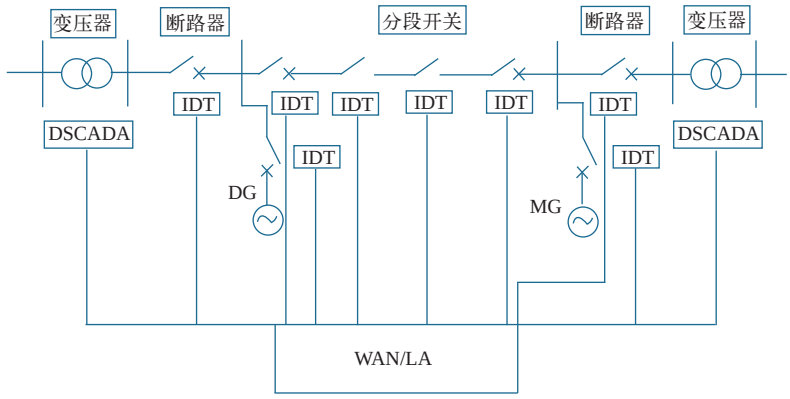

图2　高级配电运行系统结构

2．面向智能配电网的 MAS 的结构

将智能配电网的控制中心和每个智能配电终端分别作为一个 Agent，通过光纤以太网构成一个 MAS。每个Agent的结构如图3所示。整个Agent的结构分为4层：I/O 层、计算层、决策层和通信层，I/O 层实现电压、电流和电气设备状态等数据的采集和开关动作、报警的控制；计算层实现电压电流有效值、有功功率、无功功率、谐波含量和零序电压电流等值的计算，各种故障特征的提取，进行保护计算以实现速断保护；决策层主要实现原始数据、中间数据和公共信息的存储，实现监控报警、后备保护、故障定位、供电恢复和故障诊断等决策，并协调 Agent 内各模块的工作；通信模块主要实现与其他 Agent 的通信和与用户交互。

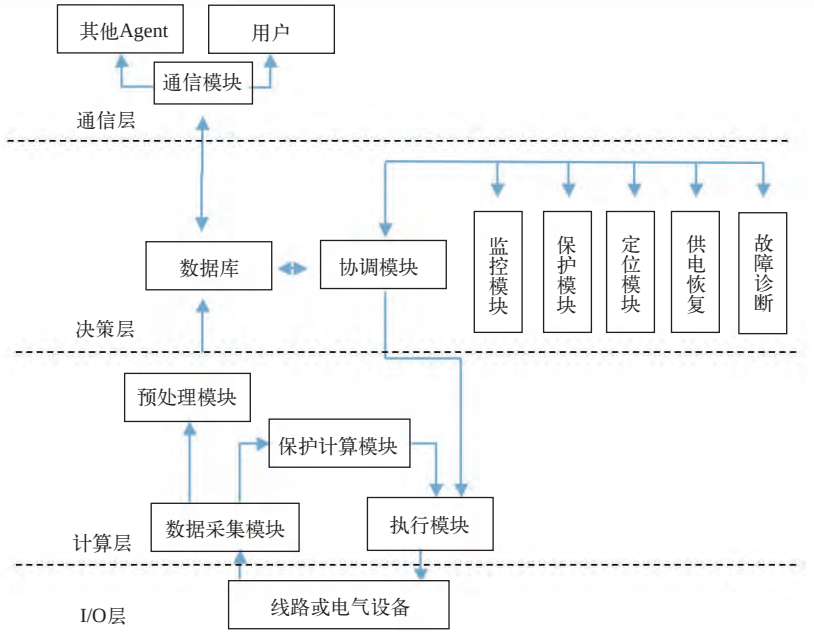

图3　Agent 结构

3．智能配电终端的结构

智能配电终端 IDT 具有状态监测、故障检测、故障定位、故障诊断、交互信息和控制开关动作的作用，它通过检测线路是否失电压、过电流，以及暂稳态电流和暂稳态电压来判断故障所在，继而操作开关，隔离故障，恢复供电。IDT 模型如图4所示。

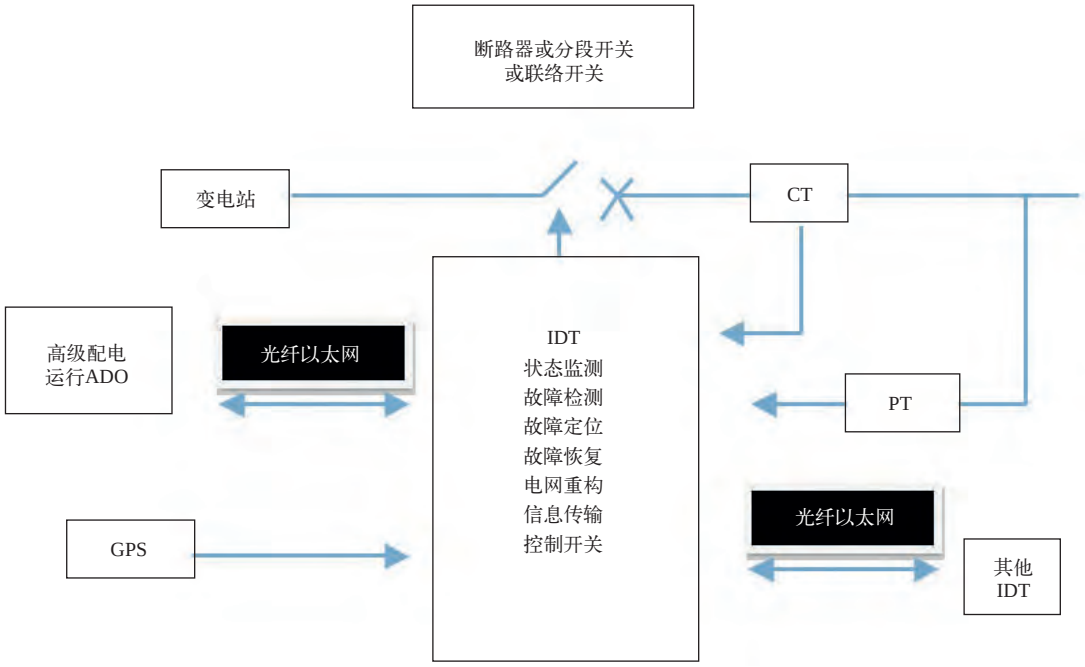

图4　IDT模型

智能配电网的优势

1）自愈能力。自愈是指SDG能够及时检测出已发生或正在发生的故障并进行相应的纠正性操作，使其不影响对用户的正常供电或将其影响降至最小。自愈主要是解决“供电不间断的问题，是对供电可靠性概念的发展，其内涵要大于供电可靠性。例如目前的供电可靠性管理不计及一些持续时间较短的断电，但这些供电短时中断往往都会使一些敏感的高科技设备损坏或长时间停运。

2）具有更高的安全性。SDG能够很好地抵御战争攻击、恐怖袭击与自然灾害的破坏，避免出现大面积停电；能够将外部破坏限制在一定范围内，保障重要用户的正常供电。

3）提供更高的电能质量。SDG实时监测并控制电能质量，使电压有效值和波形符合用户的要求，既能够保证用户设备的正常运行又不影响其使用寿命。

4）支持DER的大量接入。这是SDG区别于传统配电网的重要特征。在SDG里,不再像传统电网那样，被动地硬性限制DER接入点与容量，而是从有利于可再生能源足额上网、节省整体投资出发，积极地接入DER并发挥其作用。通过保护控制的自适应以及系统接口的标准化，支持DER的“即插即用”。通过DER的优化调度，实现对各种能源的优化利用。

5）支持与用户互动。与用户互动也是SDG区别于传统配电网的重要特征之一。主要体现在两个方面：一是应用智能电能表，实行分时电价、动态实时电价，让用户自行选择用电时段，在节省电费的同时，为降低电网高峰负荷作贡献；二是允许并积极创造条件让拥有DER（包括电动车）的用户在用电高峰时向电网送电。

6）对配电网及其设备进行可视化管理。SDG全面采集配电网及其设备的实时运行数据以及电能质量扰动、故障停电等数据，为运行人员提供高级的图形界面，使其能够全面掌握电网及其设备的运行状态，克服目前配电网因“盲管”造成的反应速度慢、效率低下问题。对电网运行状态进行在线诊断与风险分析，为运行人员进行调度

决策提供技术支持。

7）更高的资产利用率。SDG实时监测电网设备温度、绝缘水平和安全裕度等，在保证安全的前提下增加传输功率，提高系统容量利用率；通过对潮流分布的优化，减少线损，进一步提高运行效率；在线监测并诊断设备的运行状态，实施状态检修，以延长设备使用寿命。

8）配电管理与用电管理的信息化。SDG将配电网实时运行与离线管理数据高度融合、深度集成，实现设备管理、检修管理、停电管理以及用电管理的信息化。

智能配电网的主要技术内容

1）配电数据通信网络。这是一个覆盖配电网中所有节点（控制中心、变电站、分段开关和用户端口等）的IP通信网，采用光纤、无线与载波等组网技术，支持各种配电终端与系统“上网”。它将彻底解决配电网的通信瓶颈问题，给配电网保护、监控与自动化技术带来革命性的变化，并影响一次系统技术的发展。

2）先进的传感测量技术，如光学或电子互感器、架空线路与电缆温度测量、电力设备状态在线监测和电能质量测量等技术。

3）先进的保护控制技术，包括广域保护、自适应保护、配电系统快速模拟仿真和网络重构等技术。

4）高级配电自动化。目前的配电自动化技术包括配电运行自动化（安全监控和数据采集、变电所综合自动化和馈线自动化）、配电管理自动化（配电地理信息系统、设备管理和检修管理等）以及用户自动化这3个方面的内容。这些内容都属于SDG技术的范畴。为与目前大家熟知的配电自动化区分，美国电科院提出了高级配电自动化（Advanced Distri－bution Automation，ADA）的概念。ADA是传统配电自动化(DA)的发展，也可认为是SDG中的配电自动化。ADA的新内容主要支持DER的“即插即用”，它采用IP技术，强调系统接口、数据模型与通信服务的标准化与开放性。为使SDG技术概念更有针对性，笔者建议ADA仅包括配电运行自动化与配电管理自动化，将用户自动化内容列入下面介绍的高级量测体系。

5）高级量测体系（Advanced Metering Architecture，AMA）是一个使用智能电能表通过多种通信介质，按需或以设定的方式测量、收集并分析用户用电数据的系统。AMA是支持用户互动的关键技术，是传统AMR技术的新发展，属于用户自动化的内容。

6）DER并网技术，包括DER在配电网的“即插即用”以及微网（Micro Grid）两部分技术内容。DER的“即插即用”包括DER高度渗透的配电网的规划建设、DER并网保护控制与调度管理、系统与设备接口的标准化等。微网是指接有分布式电源的配电子系统，它可在主网停电时孤立运行。DER并网研究内容还包括有源网络（Active Network）技术。有源网络指分布式电源大量应用、深度渗透，潮流双向流动的网络。

7）DFACTS是柔性交流输电（FACTS）技术在配电网的延伸，包括电能质量与动态潮流控制两部分内容。DFACTS设备包括静止无功发生器（SVC）、静止同步补偿器（STATCOM）、有源电力滤波器（APF）、动态不停电电源（UPS）、动态电压恢复器（DVR）与固态断路器（SzSCB）和统一潮流控制器（UPFC）等。

8）故障电流限制技术，指利用电力电子、高温超导技术限制短路电流的技术。

综上所述，SDG技术包含一次系统与二次系统两方面的内容。一个具体的SDG功能的实现，往往涉及多项技术的综合应用。以自愈功能为例，首先一次网架的设计应该更加灵活、合理，并应用快速断路器、故障电流限制器等新设备；在二次系统中，应用广域保护、就地快速故障隔离等新技术，以及时检测出故障并进行快速自愈操作。

结束语

配电网直接面向用户，为了满足用户对供电可靠性、电能质量及优质服务的要求，最大限度发挥电网的价值和效率，提高电网的运行效率。因此，智能配网管理系统实现可以提高对配网的驾驭能力，是提高优质供电服务的重要手段。建造具有中国特色的智能电网是未来我国电力发展的方向。EA

（收稿日期：2015.06.05）
（编辑：刘群点）