[智能控制]

电网系统智能技术的应用

文/朱苛娄　胡可　武琼
平高集团有限公司

对电气自动化和智能化技术进行探讨，并介绍电网系统中智能化技术的应用，其不仅提高系统的效率，还降低电力传输过程中的损耗，成为电力系统中的一项流行技术。随着科技水平的持续进步，电力系统中的智能技术也在不断深化，智能控制技术以可靠、安全和实用为人们所青睐。

随着电网自动化的进步，智能技术在提升电网智能化方面扮演着日益重要的角色。作为新时代技术的佼佼者，智能技术因其先进性被广泛运用于多个领域，将智能技术应用于电网不仅提高整体运行效率，还能确保能源系统的稳定性。

电力系统具有动态属性，如时间退化、非线性动力学和不确定参数动力学，这使得控制变得复杂。分布式电网的地理特性，以及组件系统的滞后、延迟和磁饱和特征，使得有效控制更加困难。然而，社会经济的快速发展要求电力系统实现更有效的控制，这对电力的有效管理具有深远的意义。智能技术的引入完善了电网管理系统，显著提升管理控制的质量和效率，加快了系统响应时间，并优化操作流程。

自动化和智能技术的应用对能源系统至关重要，不仅可以提高信息技术的利用率，还增强了自动化系统的可控性。智能技术是推动能源网络自动控制发展的关键，有助于解决传统电网的缺陷，并持续提升电网自动化水平。同时，智能技术也需不断更新以应对新挑战，从而持续推动电力系统的健康发展。

概述

智能技术是采用传感器技术、计算机技术、信息技术等新的控制技术来完成对高电压大电流电力系统的智能控制工具。智能传感技术系统根据反馈结果，通过对系统内部电气参量的运算和分析，获取系统外部环境参数信息。如果系统电气参量已经达到正常限定值则，启动相应保护程序，该技术可以提高控制效率，从而提高系统恢复正常状态的能力。以人工智能技术驱动的系统将显著提高资本效率。电力系统中的智能技术具有适应性、多样性和应用性等特点，其中自愈技术应用广泛。

（1）电网自动化现状

在某些电力系统中，电力参量被简化处理，并用智能控制原理来实现自动化。电网自动化由中央控制器、边缘设备和通信设备等硬件组成。以中央控制器为核心单元，以通信设备为网络联结边缘设备，组成了区域互联的电力系统。我国的自动化系统逐步向操作专业化和简单化发展。

（2）智能控制现状

智能控制技术广泛应用于我国的电网自动化，如模糊控制、专家控制和神经网络等多种控制技术。

（3）智能营销现状

信息技术实现了电网营销的无纸化办公。相比于以前的电网营销，智能营销新增数值汇集、经营分析和辅助决策功能。当前的电网营销系统是包含营销管理和知识管理的新体系，是电力公司实现“国际化大平台”和“国际化大扩张”的重要举

措，一种通过“复制”和编译高效内核的自动化和可利用的软件架构。目前，营销系统难以实现在建筑和生产率方面复制、校核和收集过程的完全自动化。主要问题是，当测量3 100万用户表地址与用电量等数据集相互作用时，架构的不稳定性会导致系统自动关闭；系统的自我控制和自我修复水平较低；系统功能，如数据筛选、数据计算和数据传输在性能上效率较低，很难在需要的时间内完成3 100万用户用电数据计算处理；系统的操作功能，如数据列表、数据计算、数据汇总和数据传输与存储功能缺乏连接，需要一定程度的人工干预；系统无法控制当前的业务流程，用户的经验也更少。

营销“抄、核、收”全流程自动化技术设计

1. 基于智能技术的全流程自动化技术设计

智能技术由中央控制器通过通信网络对边缘设备进行操作控制，由软件程序对控制过程进行管理分析，是在以前的自动化系统上扩展的新技术。电力系统由各种资源和技术组成，可让电力保持高效，并保持充分的安全稳定运行。智能技术的广泛应用已成为电网自动化的主流发展方向。

（1）电网自动化

电网系统具有较好的动态性能，中央控制器将对网络中的边缘设备进行精确控制，使得电力系统获得精准调控， 因此电力自动化系统具有非线性、时变性和其他物理特性。比如采用CS5460A型智能电表的分布式电能管理系统，这是电力系统中一种先进的智能技术，它使用键盘输入来实现人机交互，由P89C61X2单片机、CS5460A计量芯片、LCD液晶屏、DS1302时钟芯片和X5045存储芯片等元件组成。我国电力系统存在成本高、更新难度大、设备性能跟不上发展要求等客观缺陷，同时人们的要求也在不断提高。因此，应用智能技术以提高系统总体水平是电网自动化发展的必然需求。

（2）电网管理控制

电网管理控制系统通过计算机实现电网自动控制， 主要管理内容包含设计管理、工程管理、生产管理、规划管理、信息管理、财务管理和人员管理等。

（3）配电自动化

配电自动化系统采用多任务系统架构，通过远程操作微型计算机，可以实现变电站无人值守。本文基于电力营销系统的现存缺陷，以某省电力系统升级改造工程为例，讨论改造过程中应该遵循的原则与技术。

2. 设计原则及目标

对“抄、核、收”环节应遵循稳定、高效、节能原则，并能满足下述要求。应用海量数据缓冲交互研究方法，开发全网自动迁移技术，以及系统各层级应用间的自动配置技术，在几秒钟内进行智能诊断并自动切换存在故障的网络，修复数据库表，完成系统自我管理，为整个系统恢复过程创造有利条件；基于同构平台的高速数据交换技术、动态平衡数据共享算法和并行极端数据流的开发和实现，提高系统运行效率；实施基于JAVA跨层服务的自动化技术，实现“抄、核、收”全流程的全面自动化，降低人力成本；通过研究和执行分散用电信息收集和分析方法，建立多通道监测功能可视化，以便工作人员能够实现对电表的电量、费用和支付情况连续监测，并不断响应用户需求。

3. 营销自动化系统框架结构

本文基于电网营销自动化，研究智能“抄、核、收”环节，以解决工作过程中出现的问题为目标，开发出如图1所示的智能系统框架结构。

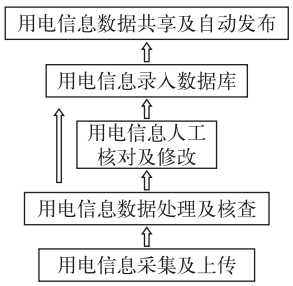

图1　智能系统框架

4. 关键技术

（1）庞大数据缓冲技术

之前营销系统通过Webscrver完成数据发送，对表码字段有更新要求，但对于只有一个字段的表码，需要查询相应的各自门牌号的电表地址、每月收集电表用电数字等多种信息。而Webserver接口方式，由于该区域数据量大且内存有限，一次只与一个数据块交互，传输大量数据，每次测试的平均交互时间很长。每次进行数据请求，均需更新全

部数据，收集全省（以某省为例）6个月内3.1亿次用户数据互动，同时大量数据调用占用服务器接口资源，导致系统崩溃，海量数据结果冲击营销系统。使用数据缓冲技术后，业务维护系统的接口不再直接相连，中间通过交互缓冲，可以提供稳定的系统，避免短期数据拥堵问题，系统架构如图2所示。

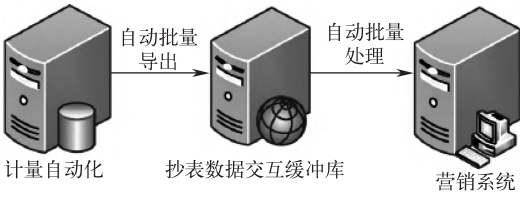

图2　庞大数据缓冲系统

（2）跨区跨层发布技术

营销系统服务器多且数据量大，系统结构复杂，靠人力处理容易出错还耗时很长。之前在Weblogic主机上通过人工进行信息处理，需要更多的时间；现在通过发布服务器用自动化发布程序软件，克服中转服务器跨区跨层的资产管理问题，使得常见的应用服务器之间自由进入节点，打破Weblogic中间环节后，能大大缩短发布时间，精密操作下每次发布只需要2 h。跨区跨层发布原理，如图3所示。

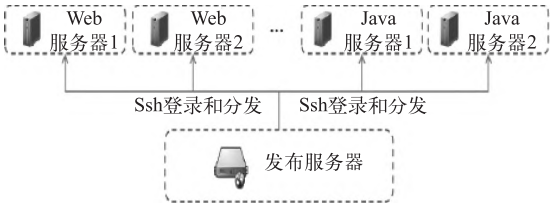

图3　跨区跨层发布原理

（3）故障节点重置技术

企业营销管理系统下的应用程序安装在多个计算机内，而每个计算机均有8个以上的联结点需要管理。当其中一个联结点断裂时，很难通过人工快速找到并修复它。应用节点自动重置技术可以减轻人工维修工作量，还能快速完成修复使结点投入运行。

（4）日志分析技术

根据系统日志，能够对营销系统工作状态和操作数量进行分析。不过本项工作的难点在于系统记录既分散，也不能直观显示。通过日志分析技术可完成数据收集分析，并在前台进行直观显示。如图4所示为营销业务监测可视化功能框架。此外，数据缓冲、跨区跨层发布、故障节点重置、数据智能诊断、数据迁移、数据平衡算法、高速数据交换、网络故障诊断和自动切换等关键技术也实现了发展完善。

图4　营销业务监测可视化功能框架

（5）系统解决的问题

1）解决原有系统稳定性差，系统管理水平低的问题，在短时间内，它将受到数据测量等系统的影响，数以百万计的数据代码用户将导致机器关闭；必须快速完成系统故障自诊断与自我修复。

2）系统功能的解决方案，如定值表、算法和通信，在设计过程中，低效率和难以执行定量计算任务。

3）解决系统中的业务功能问题，例如输出统计表格、数据核算和数据导出等应用缺乏互联，要借助人工处理，自动化程度不高。

4）解决不能前台可视化系统业务流程、用户评价效率低下的问题。

5. 智能技术的应用

自动化技术对于能源系统整合，提高系统运行质量和效率，推广良好资源，提高人民生活质量以及发展我国经济具有重要作用。电网自动化发展较快，系统控制主要有预最佳线性控制、专家系统控制、神经网络控制、模糊控制和复杂智能控制5种方法。

（1）预最佳线性控制

在远距离输电系统中，一般采用预最佳控制方法，以提高发电机电压的控制效果。通过比较发电机输出电压和给定电压，然后根据PID方法计算偏移量，有差异，最后得到控制电压，这就是预最佳控制法。采用预最佳控制电压调节效果最好，其中调节电压的偏移角必须相同。然而，该控制法也有其缺点，它通常在局部线性模型中运行良好，在运

行其他模型系统时控制效果不佳。

（2）专家系统控制

专家系统控制主要是基于专业的计算机软件系统、管理系统，利用专家的经验和知识来解决突发问题。目前专家系统控制趋于成熟，已深入参与各个方面，如电网故障案例，吊装过程或设备采用管理专家系统（专家）等，监控紧急情况，甚至评估现有管理过程中的故障排除，使电网尽快恢复正常。

（3）神经网络控制

神经网络控制是比较成熟的新型智能技术，通过非线性网络数据库，根据系统原理网络运行数据进行优化控制。神经网络控制主要应用人工智能、计算机和数学模型进行结合，对能量消耗、能量采集、损耗计算和能量损耗的分析更准确直观，提高系统工作效率，可以改善神经结构，更加精确地分析控制模型。

（4）模糊控制

模糊控制也是电网中常用的控制方法。模糊系统可以准确模拟控制系统的动态特性，针对结构复杂、放大效果难以调节的电网，应用模糊控制系统，从根本上解决电网发生复杂扰动的暂态时间动态系统问题，将电力系统控制推向新的高度。在模糊控制系统中，电参量是模糊的，经过加工和分析，使得其方法是精确的。

（5）复杂智能控制

复杂智能控制是将多种智能控制方法（如自适应模糊控制、变结构模糊控制、自适应神经网络和变结构神经网络等）直接结合起来的一种控制方法。在复杂智能控制方法中，常将专家系统、模糊控制和神经网络等控制方法结合或交叉使用，用以研究电力系统。

6. **系统优势及效益**

（1）系统优势

1）通过庞大数据缓冲技术、跨区跨层发布技术、故障节点重置技术、日志分析技术、故障网络切换技术和数据库表智能分析修复技术等，为业务流程的全自动化提供了一个稳定的平台。

2）通过各种数据平台的自动切换技术、动态平衡数据分配算法、海量数据流并行处理技术及智能采集调度计算技术的研究和应用，提高了电力营销系统的运行效率。

3）通过基于JAVA的自动化服务调度技术的研究和应用，将“抄、核、收”的大数据流程全部自动化，降低人工工作量，节省人力开支。

4）通过探索和应用分布式日志的收集和分析方法，创建多渠道监控功能可视化，实现“抄、核、收”业务的实时监控，便于人员操作。

（2）取得的效益

实现营销业务流程自动化 ，可以降低业务人力成本，加快电费回收，增加公司收入，获得显著经济和社会效益。

1）直接经济效益。通过应用智能技术，优化电网营销“抄、核、收”业务流程，提高自动化功能效率，加快电费收费速度和现金流通速度；通过业务日志、用电信息等系统数据分析，能快速发现电费风险，提高业务效率，缩短风险排查时间。获得显著的经济效益。

2）社会效益。通过应用智能技术优化电力营销系统“抄、核、收”业务流程，提升业务处理能力，大幅提升系统管理、修复和自愈能力，降低系统故障率，缩短故障排查时间，减轻业务与维护人员的工作强度；同时完善的自动化技术使得“抄、核、收”业务流程更加流畅和高效，方便电力企业收费、抄表和决策行为的比对，减少与现场业务和客户的接触，显著降低顾客投诉风险 ，另外支持智慧能源服务模式，及时响应客户电子支付需求，提升客户服务质量，打造真实、互动和个性化的服务体验。

结束语

随着我国社会经济的飞速发展，电力市场经济也在持续完善。电网自动化和智能控制作为电网中的一项重要技术，越来越受到人们的期待和关注。以高质量和卓越为目标，本文介绍的管理方法包括自适应管理方法、结构化管理方法等在能源管理中的应用，以及智能技术在能源管理中的应用。设计控制系统时，要兼顾控制成本与质量，不仅要降低安装成本，还要减少电力损失，提高经济效益。电网自动化中应用智能技术，提高了系统运行效率、安全性和稳定性，对电力系统发展意义重大。本文主要结论包含：智能技术应用于电力系统自动化，

发展了模糊控制系统、专家控制系统等概念和相关方法；通过对数据缓冲技术、自动发布技术和网络故障自动切换技术等优化，解决系统稳定性、效率、连接性和用户体验等问题；通过电力系统智能改造，实现系统稳定高效运行，降低人力、物力成本。**EA**

（收稿日期：2023-12-29）

参考文献

[1] 王飞鸣．电力系统自动化中智能技术的应用[J]．微型电脑应用，2021，37(3)：131-133．

[2] 王蓓蓓，胥鹏，赵盛楠，等．基于"互联网+"的智慧能源综合服务业务延展与思考[J]．电力系统自动化，2020，44(12)：1-12．

[3] 梁正卓，朱琬璐，朱志宇，等．船舶电力系统重构技术现状及展望[J]．中国舰船研究，2022．

[4] 孙红霞．智能化技术在电气工程自动化控制中的应用[J]．粘接，2020，44(10)：94-98．

[5] 李丽．电力系统自动化中的计算机技术应用分析[J]．储能科学与技术，2022，11(5)：1679-1680．

[6] 胡劲松，石改萍，孔祥玉，等．新技术对模块化智能变电站设计的影响分析和建议[J]．电力系统及其自动化学报，2020，32(3)：107-112．

[7] 刘晟源，林振智，李金城，等．电力系统态势感知技术研究综述与展望[J]．电力系统自动化，2020，44(3)：229-239．

[8] 陈飞建，吕元双，樊国盛，等．基于信息融合的智能变电站继电保护设备自动测试系统[J]．电力系统保护与控制，2020，48(5)：158-163．

[9] 白昱阳，黄彦浩，陈思远，等．云边智能：电力系统运行控制的边缘计算方法及其应用现状与展望[J]．自动化学报，2020，46(3)：397-410．

[10] 方佳维，朱何荣，陈桂友．边缘智能技术在智能配电网中的应用探讨[J]．电气自动化，2021，43(3)：108-111．

[11] 刘永辉，张显，孙鸿雁，等．能源互联网背景下电力市场大数据应用探讨[J]．电力系统自动化，2021，45(11)：1-10．

[12] 赵晋泉，夏雪，徐春雷，等．新一代人工智能技术在电力系统调度运行中的应用评述[J]．电力系统自动化，2020，44(24)：1-10．

[13] 王哲，刘梓健，邱宇．人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用研究[J]．电子设计工程，2020，28(2)：148-151，156．