

输配电自动化系统的现状与发展趋势

陈 光

山东泰开成套电器有限公司 山东 泰安 271000

摘 要:在新型电力系统建设全面推进、新能源大规模并网的行业背景下,输配电自动化系统作为电网智能化升级的核心载体,是保障电力系统安全稳定运行、提升供电质量与调度效率的关键基础设施。本文系统梳理我国输配电自动化系统的发展现状,从输电自动化、配电自动化两大核心板块,分析系统架构、关键设备、通信技术及应用成效,总结当前系统运行中存在的技术短板、设备适配性不足、数据融合度低、网络安全薄弱等问题。结合人工智能、大数据、边缘计算、5G 等新兴技术的融合应用场景,深入探讨输配电自动化系统的未来发展趋势,提出智能化升级、云边协同架构普及、新能源适配优化、安全体系完善、全域集成化发展等核心方向。研究旨在为输配电自动化技术迭代升级、电网智能化改造提供理论参考,助力新型电力系统高质量建设,实现电力能源高效、安全、绿色、低碳发展。

关键词:输配电自动化;智能电网;新型电力系统;云边协同;电网安全

引言

电力工业是国民经济的支柱性产业,输配电网络作为电力能源传输、分配的核心枢纽,其运行稳定性、智能化水平直接关系社会生产生活秩序与能源安全战略落地。随着我国“双碳”目标持续推进、新能源装机规模逐年扩大,风电、光伏等分布式能源大量并入电网,电动汽车、储能设备、数据中心等新型负荷快速增长,传统人工值守、粗放式调度的输配电运行模式已无法适配现代化电网的运行需求^[1]。

输配电自动化系统依托计算机技术、通信技术、自动控制技术,实现输电、配电全过程的实时监测、故障诊断、智能调度、远程控制,彻底改变了传统电网运维模式。自上世纪 90 年代我国启动配电自动化试点建设以来,输配电自动化技术历经三十余年发展,完成了从人工巡检、局部自动化到全域智能化、数字化的跨越式升级,已成为智能电网建设的核心支撑。

1 输配电自动化系统概述

输配电自动化系统是集成数据采集、状态监测、自动控制、故障处理、智能调度于一体的综合性电力控制系统,主要分为输电自动化系统与配电自动化系统两大模块,覆盖电力输送、分配全流程。

输电自动化系统主要应用于高压、超高压输电网络,核心包含变电站自动化系统、输电线路在线监测系统、广域调度控制系统,主要实现输电线路、主变设备、变电站设备的实时状态监测、负荷调控、故障预警与隔离,保障跨区域、大容量电力输送的稳定性。

配电自动化系统聚焦中低压配电网,依托 FTU 馈线终端、DTU 配电终端、TTU 配变终端等核心设备,结合通信网络与后台管控平台,实现配电网故障自动定位、隔离、非故障区域自愈恢复、台区负荷监测、线损精细化管理等功能,直接面向终端用户,决定供电可靠性与服务质量^[2]。

2 输配电自动化系统发展现状

2.1 整体建设规模持续扩大,全域覆盖格局基本形成

近年来,国家持续加大电网智能化改造投入,依托智能电网建设、农网改造、新型电力系统建设等专项工程,我国输配电自动化建设实现规模化普及。目前,全国主干高压输电网络已全面实现自动化管控,变电站自动化覆盖率接近 100%,无人值守变电站成为主流模式。

配电网自动化建设提速显著,城市核心区域配电自动化覆盖率已超 95%,县域及农村电网自动化改造持续推进,10kV 配电线路光纤通信覆盖率达到 70% 以上,基本形成“城市全面智能、县域重点覆盖、农村逐步普及”的自动化格局。自动化系统的全面落地,大幅降低了电网人工运维成本,电网故障处置效率、供电可靠性显著提升,故障平均恢复时间大幅缩短,供电稳定性达到国际先进水平。

2.2 核心技术体系日趋成熟,设备国产化水平大幅提升

经过多年技术攻关与工程实践,我国已构建起自主可控的输配电自动化技术体系。在感知终端层面,FTU、DTU、智能电表、输电在线监测装置等设备实现

国产化量产，终端设备的监测精度、环境适应性、运行稳定性持续提升，可全面采集电压、电流、负荷、温度、线路状态等核心运行数据。

在控制技术层面，传统单一的集中式控制模式不断优化，就地控制、集中控制相结合的混合控制架构广泛应用，能够快速响应电网故障，实现故障区段精准隔离、电网自愈调控。在调度控制层面，省级、市级电网调度自动化系统全面升级，可实现全网负荷实时监测、潮流优化计算、跨区域电力协同调度，适配大电网互联运行模式。

同时，电力通信技术持续迭代，形成“光纤为主、5G 无线为辅、电力线载波补充”的多元化通信格局，有效解决了偏远台区、复杂地形线路的数据传输难题，为自动化系统稳定运行提供通信支撑。

2.3 数字化应用不断深化，运维管理模式全面革新

输配电自动化系统依托大数据、物联网技术，推动电网运维从“人工巡检、事后抢修”向“智能监测、事前预警、主动运维”转型。通过自动化平台对电网运行数据的实时采集、统计分析，可精准识别线路过载、三相不平衡、设备老化、线损异常等隐患问题，实现故障提前预警，大幅降低电网故障发生率。

在台区管理中，TTU 终端可实时监测配电变压器运行状态，精准管控台区负荷，有效治理三相不平衡、高损、过载等问题，助力电网线损精细化管理。相关实践数据显示，规模化应用配电自动化系统后，电力企业故障处理成本可降低 30% 以上，用户供电满意度显著提升。此外，自动化系统实现了电网运行数据的可视化展示，为电网规划、改造升级、负荷调配提供精准的数据支撑，推动电网运维管理数字化、标准化、精细化。

2.4 新能源适配应用初步落地，支撑绿色电网建设

为适配“双碳”发展目标，当前输配电自动化系统逐步融入新能源接入调控模块，针对分布式光伏、分散式风电、储能设备并网场景，开发新能源功率预测、并网监测、消纳调控等功能。部分试点区域通过自动化系统实现分布式能源的有序并网、动态调压、负荷匹配调控，有效缓解新能源并网带来的电压波动、谐波干扰、潮流反向等问题，提升电网对清洁能源的消纳能力，助力电网绿色低碳转型。

3 当前输配电自动化系统存在的问题

3.1 新旧设备兼容性差，系统集成度不足

我国输配电自动化建设分阶段推进，不同时期投运

的终端设备、管控系统技术标准不统一，老旧设备与新型智能设备兼容性较差。部分老旧台区仍沿用传统终端设备，数据采集精度低、通信速率慢，无法适配智能化调控需求；而新建智能终端功能丰富、数据维度多，新旧设备数据无法互通共享，形成大量“数据孤岛”。

3.2 新能源适配能力不足，电网调控压力增大

当前主流输配电自动化系统多基于传统火电、水电集中供电模式设计，调控算法、控制策略适配常规电源稳定并网场景，对新能源大规模分散并网的适配性存在明显短板。风电、光伏具有间歇性、波动性、随机性特征，大规模并网后易引发电网电压波动、频率偏移、潮流紊乱等问题，现有自动化系统的功率预测精度不足、动态响应速度有限，难以实现新能源出力与负荷的精准匹配，弃风弃光现象仍时有发生。

此外，储能、电动汽车双向充放电设备的普及，让电网从单向供电模式转变为双向互动模式，现有自动化系统的双向调控功能不完善，无法适配新型电力系统源网荷储协同运行需求。

3.3 数据处理能力不足，智能应用深度有限

现有自动化系统多采用云端集中处理模式，海量终端运行数据、设备状态数据、环境监测数据全部上传云端处理，存在通信带宽压力大、数据传输时延高的问题。对于故障隔离、紧急调压等毫秒级实时控制业务，云端处理模式难以满足快速响应需求。

3.4 网络安全防护体系薄弱，安全风险突出

输配电自动化系统高度依赖通信网络与信息技术，随着电网数字化、网络化程度不断提升，系统网络安全风险持续加剧。一方面，部分老旧自动化设备防护等级低，缺乏加密认证、入侵检测等安全机制，易出现数据篡改、设备被控等安全隐患；另一方面，5G、无线通信的广泛应用，拓宽了电网网络边界，外部网络攻击、病毒入侵风险大幅增加。

目前，多数电力企业重系统建设、轻安全防护，缺乏完善的自动化系统安全监测、应急处置机制，源网荷储多元接入场景下的全域安全防护体系尚未完全建立，严重威胁电网安全稳定运行。

3.5 农村电网自动化水平滞后，区域发展不均衡

我国输配电自动化建设存在明显的区域差异，城市电网自动化、智能化水平较高，设备更新迭代速度快，智能调控、自愈能力完善；而农村电网、偏远地区电网受地形条件、投资成本、运维条件限制，自动化终端覆

盖率低,设备老旧问题突出,通信网络稳定性差^[3]。

多数农村配电网仅实现基础数据采集功能,故障自动隔离、自愈恢复、智能调度等高级功能无法落地,仍依赖人工巡检、人工抢修,运维效率低、供电可靠性差,成为制约全网智能化均衡发展的主要短板。

4 输配电自动化系统发展趋势

4.1 人工智能深度融合,系统向自主智能化升级

未来,人工智能、机器学习技术将全面融入输配电自动化全流程,推动系统从“自动化”向“智能化、自主化”跨越升级。基于 AI 算法构建智能研判模型,可实现电网负荷精准预测、新能源出力动态预判、设备故障智能诊断、运行风险提前预警,摆脱传统人工经验依赖。

同时,通过自适应、自学习控制算法,自动化系统可根据电网实时运行工况、新能源并网规模、负荷变化特征,自主优化调度策略、调整控制参数,实现电网潮流最优分配、电压无功精准调控、故障快速自愈,大幅提升电网运行的稳定性与经济性。AI 视觉监测、智能巡检机器人也将广泛应用于输电线路、变电站设备监测,实现无人化、智能化运维。

4.2 云边协同架构普及,提升实时调控能力

针对传统云端集中处理模式时延高、带宽压力大的短板,云边协同将成为未来输配电自动化系统的主流架构。通过在电网终端部署边缘计算节点,将数据预处理、实时故障判断、就地控制等低时延、高实时性业务下沉至边缘端完成,无需全部上传云端,大幅降低数据传输时延,满足毫秒级故障处置需求^[4]。

云端平台主要负责全网大数据汇总、模型训练、策略优化、全局调度等综合性业务,形成“边缘就地处置、云端全局管控”的协同模式。该架构可有效解决海量终端数据处理难题,提升系统响应速度与运行效率,适配新型电力系统复杂多变的运行场景。

4.3 适配新型电力系统,实现源网荷储协同调控

顺应新型电力系统建设需求,输配电自动化系统将全面优化新能源适配能力,构建源网荷储一体化协同调控体系。未来自动化系统将升级新能源专属调控模块,优化风电、光伏功率预测算法,提升间歇性电源并网适配能力,实现新能源最大化消纳。

4.4 全域集成化发展,构建一体化智能管控体系

未来输配电自动化系统将打破各业务系统独立运行的壁垒,建立统一的数据标准、通信标准与管控平台,实现输电、配电、调度、运维、营销全业务数据融合集

成。通过全域数据互联互通,构建全网一体化智能管控体系,实现电网运行状态全景感知、故障全域联动处置、资源全局优化调度。

4.5 构建全域安全体系,强化电网安全防护

随着电网网络化、智能化程度提升,网络安全将成为自动化系统建设的核心重点。未来将构建“终端防护、网络防护、平台防护、应急防护”四位一体的全域网络安全体系,对智能终端、通信网络、管控平台进行全方位安全升级。

通过部署加密认证、入侵检测、安全审计、漏洞监测等技术手段,实现攻击主动防御、风险实时监测、隐患及时处置。同时建立健全自动化系统安全管理制度、应急处置预案,提升电网抵御网络攻击、突发故障的能力,保障新型电力系统安全稳定运行^[5]。

4.6 均衡全域建设,推进城乡电网智能化协同发展

未来电网建设将聚焦城乡均衡发展,加大农村、偏远地区输配电自动化改造投入。通过更新老旧终端设备、完善乡村通信网络、普及轻量化智能管控系统,提升农村配电网自动化覆盖率与智能化水平,实现故障自动隔离、快速复电、线损智能管控,缩小城乡电网运维差距。

结束语

输配电自动化系统是智能电网与新型电力系统建设的核心支撑,是电力工业数字化、智能化转型的重要标志。经过数十年的发展,我国输配电自动化建设已实现规模化普及,技术体系日趋成熟,运维模式持续革新,为电力系统安全稳定运行提供了坚实保障。但当前系统仍存在集成度不足、新能源适配性差、智能化水平有限、网络安全薄弱、区域发展不均等诸多问题,难以完全适配新能源大规模并网与新型负荷快速增长的发展需求。

参考文献

- [1] 王磊,张军. 输配电自动化技术的发展现状与未来趋势 [J]. 电力工程技术, 2024,43(02):112-118.
- [2] 马友骏. 电气工程及其自动化在智能输配电系统中的应用与优化 [J]. 能源科技, 2023,6(12):89-93.
- [3] 李浩然. 配电自动化行业发展现状及升级改造策略研究 [J]. 电网技术, 2025,49(03):98-105.
- [4] 陈宇峰. 智能电网下配电自动化通信技术应用与优化 [J]. 电力系统通信, 2024,45(05):45-50.
- [5] 赵博文. 我国配电自动化三十年发展历程与技术变革 [J]. 电工技术, 2026(02):156-158.