电力系统及其自动化发展趋势探析

吴江斌

国网湖北省电力有限公司汉川市供电公司　湖北　孝感　432300

摘　要：本文围绕电力系统及其自动化，界定核心概念、梳理发展历程，分析当前技术、应用、产业层面的发展现状与核心问题，探讨行业面临的机遇与挑战。重点阐述数智融合、全环节智能化、绿色低碳、安全韧性四大核心发展趋势，结合实际提出技术创新、应用优化、管理完善的对策建议，为推动电力系统及其自动化高质量发展提供理论参考与实践指引，助力新型电力系统构建与“双碳”目标实现。

关键词：电力系统；自动化；发展趋势

引言：随着“双碳”目标推进与数智技术迭代，电力系统作为能源供给核心，正朝着高效化、智能化、绿色化转型，电力系统自动化成为支撑行业高质量发展的关键支撑。当前，新能源大规模并网、技术融合深化带来新机遇，也面临核心技术短板、调度适配不足等挑战。基于此，本文探析电力系统及其自动化的发展趋势，破解发展难题、提出可行对策，对推动能源体系变革、保障电能安全供给具有重要现实意义。

1 电力系统及其自动化相关基础理论与发展历程

1.1 核心概念界定

（1）电力系统：指由发电、输电、配电、用电四大环节构成，通过各类电力设备与控制装置协同运行，实现电能生产、传输、分配与消费的完整体系，核心功能是保障电能安全、稳定、高效供给，满足社会生产生活的用电需求。（2）电力系统自动化：核心是通过技术手段实现电力系统运行的自主调控，关键技术涵盖调度自动化、控制自动化、运维自动化三大板块，可减少人工干预，提升系统运行效率与可靠性，是电力系统高质量发展的核心支撑。

1.2 相关基础理论

（1）电力系统运行理论：核心包括电网潮流计算、稳定运行控制、故障诊断与恢复，是保障电力系统正常运转的基础，可精准分析电能传输规律，及时处理系统故障，维持电网稳定。（2）自动化控制理论：涵盖现代控制理论与智能控制理论，为电力系统自动化提供核心理论支撑，可实现对电力设备的精准调控，优化系统运行状态。（3）数智融合理论：核心是大数据、人工智能、物联网等技术与电力系统的深度融合，通过数据采集、分析与智能决策，推动电力系统向智能化、高效化转型。

1.3 电力系统及其自动化发展历程

（1）起步期（1990-2000 年）：以引进消化国外技术为主，重点突破继电保护、调度自动化等基础领域，逐步完善电力系统基础设施，市场规模稳步扩大。（2）快速发展期（2001-2010 年）：技术向智能化、网络化转型，自主知识产权产品逐步涌现，智能电网领域专利申请量大幅增长，行业发展速度加快。（3）成熟期（2011-2020 年）：技术与市场趋于成熟，覆盖智能电网、新能源接入等多元领域，国内企业技术水平提升，国际竞争力显著增强。（4）创新升级期（2021 年至今）：数智技术与电力系统深度融合，行业向高效化、可持续化转型，新能源消纳、智能调控能力持续提升，市场规模持续增长。

2 电力系统及其自动化发展现状与存在的问题

2.1 发展现状

（1）技术层面：数智技术与电力系统融合应用逐步深化，大数据、人工智能等技术广泛用于调度控制与运维管理，柔性直流输电、虚拟电厂、储能系统等关键技术取得突破性进展，有效支撑新能源大规模接入，提升了电网运行的灵活性与稳定性。（2）应用层面：智能电网覆盖率持续提升，自动化技术已全面覆盖发电、输电、配电、用电全环节，实现了电网运行的精准调控与高效运维，大幅减少人工成本，运维效率与供电可靠性显著改善，满足了多元化用电需求[1]。（3）产业层面：已形成完整的产业体系，涵盖硬件设备制造、软件解决方案研发、专业服务提供三大核心板块，其中软件与服务领域凭借技术迭代优势，市场需求持续释放，增长势头迅猛，推动产业结构不断优化。

2.2 存在的核心问题

（1）技术层面：多源异构数据缺乏统一标准，数据共享与协同分析难度较大，数智技术与电力系统深度融合存在瓶颈，未能充分发挥技术赋能价值；同时核心硬件仍有短板，部分关键零部件依赖进口，自主可控能力有待提升。（2）应用层面：新能源大规模并网导致电网运行波动性、不确定性加剧，给系统调度控制带来挑战；配电网逐步向有源化转型，传统调度模式难以适配，调度控制难度加大；此外，区域发展不均衡，偏远地区自动化水平仍有待提高。（3）管理与协同层面：产业链各环节协同不够紧密，上下游企业联动不足，资源配置效率不高；市场化机制与电网调度体系衔接不够顺畅，制约产业高质量发展；电力系统自动化领域专业人才缺口较大，难以满足行业创新发展需求。

2.3 面临的发展机遇与挑战

（1）发展机遇："双碳"目标深入推进，为电力系统绿色转型提供方向指引；国家政策支持力度持续加大，为技术创新与产业发展提供保障；数智技术快速迭代，持续赋能电力系统升级；新型电力系统建设提速，催生广阔市场空间。（2）面临挑战：新能源高比例接入、多技术融合应用，使电力系统复杂性与不确定性大幅加剧；电网安全保供、极端天气下的韧性恢复压力持续增大；国际范围内技术竞争日趋激烈，核心技术自主创新与产业竞争力提升面临严峻考验。

3 电力系统及其自动化核心发展趋势

3.1 技术发展趋势：数智融合与核心技术升级

（1）数智技术深度渗透：人工智能、大数据、区块链等新一代信息技术将全面融入电力系统规划、调度、运维全流程，打破数据壁垒，实现数据驱动的智能决策。通过大数据精准预测电力供需，借助人工智能优化调度策略，利用区块链保障电能交易安全透明，大幅提升系统智能化水平与决策效率，推动电力系统从"被动响应"向"主动预判"转型。（2）核心技术迭代升级：柔性直流输电、虚拟电厂、储能系统等关键核心技术将持续优化，适配新能源大规模并网需求。柔性直流输电提升远距离、大容量输电能力，解决新能源发电波动性问题；虚拟电厂整合分布式电源、储能设备与可调负荷，实现资源聚合调控；储能系统向高容量、长寿命、低成本方向发展，平抑电网波动，为新能源消纳提供支撑[2]。（3）硬件载体升级：国产化高性能芯片、宽禁带电力电子器件的研发应用持续推进，逐步替代进口产品，提升电力设备自主可控水平。高性能芯片提高设备运算与响应速度，宽禁带电力电子器件降低能耗、提升功率密度，两者结合增强设备可靠性与高效性，为电力系统自动化升级提供硬件保障。

3.2 应用发展趋势：全环节智能化与多元协同

（1）调度智能化：打破传统调度模式局限，构建全景感知、智能决策、协同控制的智慧调度体系，实现主网、配网、微网的协同调度。通过全域数据采集与实时分析，精准掌握电网运行状态，动态优化调度方案，提升电网对新能源、分布式电源的接纳能力，确保电网安全稳定运行，实现电能资源的最优配置。（2）运维智能化：依托物联网、数字孪生、红外检测等技术，构建全生命周期运维体系，实现电力设备远程实时监控、故障精准预判与自主自愈。通过数字孪生技术构建设备虚拟模型，模拟设备运行状态，提前排查潜在故障；借助物联网实现设备状态实时采集，减少人工巡检成本，提升运维效率，降低设备故障率，保障电力系统连续稳定供电。（3）多主体协同：虚拟电厂、负荷聚合商、储能运营商等新型市场主体将逐步参与电力系统运行，形成源网荷储多元互动的协同模式。通过聚合分布式电源、可调负荷与储能资源，实现与大电网的灵活互动，平抑电网负荷波动，提升系统运行灵活性，推动电力系统从"源随荷动"向"源网荷储协同互动"转型[3]。

3.3 产业与管理发展趋势：绿色低碳与协同高效

（1）产业绿色转型：以"双碳"目标为引领，聚焦清洁低碳发展方向，推动可再生能源与电力系统深度融合，大幅提升风电、光伏等新能源在电力供应中的占比。同时，推动电力设备节能化改造，优化电力生产、传输、消费全环节能耗，减少碳排放，构建绿色低碳的电力产业体系，助力"双碳"目标实现。（2）产业链协同深化：电力系统及其自动化产业链上下游企业将加强紧密合作，形成"实践牵引理论、理论支撑实践"的良性互动格局。上游硬件企业聚焦核心零部件研发，中游软件企业完善解决方案，下游应用企业反馈实践需求，推动技术创新与产品升级，提升整个产业链的竞争力与协同效率[4]。（3）管理模式创新：推动电网调度体系与电力市场深度衔接，完善市场化资源配置模式，充分发挥市场在电能资源配置中的决定性作用。优化调度流程，健全交易机制，鼓励各类市场主体参与电能交易，提升电能资源配置效率，推动电力系统高质量发展。

3.4 安全发展趋势：韧性提升与全方位防护

（1）安全防护升级：构建"物理—信息—社会"三元融合的全方位安全防护体系，兼顾电力系统物理设

备安全、信息网络安全与社会层面安全。加强电力设备物理防护，防范极端天气、外力破坏等风险；强化信息网络安全管控，防范网络攻击、数据泄露等隐患，确保电力系统稳定运行。（2）系统韧性提升：建立灾前预防、灾中抵御、灾后恢复的全周期协同决策框架，提升电力系统应对极端天气、突发故障等突发事件的能力。通过优化电网结构、完善应急处置预案、加强应急物资储备，实现故障快速响应与高效恢复，保障电力供应的连续性与可靠性，提升电力系统整体韧性。

4 推动电力系统及其自动化高质量发展的对策建议

4.1 技术层面：强化创新驱动与技术突破

（1）加大核心技术研发投入，聚焦数智融合、柔性直流输电、储能系统等关键领域，集中力量突破技术瓶颈，提升核心技术自主可控水平。重点支持可解释人工智能、区块链在电力系统中的研发应用，破解技术融合难题，为电力系统自动化升级提供核心支撑。（2）建立多源异构数据统一标准体系，规范数据采集、存储、共享与分析流程，构建大规模高质量电力数据集，推动可解释人工智能在调度、运维等环节的深度应用，实现数据驱动的智能决策，充分释放数智技术赋能价值。（3）推动技术成果转化落地，加强产学研协同创新，搭建技术成果转化平台，促进高校、科研院所与企业深度合作，加速新技术、新装备的试点应用与规模化推广，让技术创新真正服务于电力系统高质量发展。

4.2 应用层面：优化布局与提升适配能力

（1）加快智能电网全域建设，优化电网整体布局，重点完善新能源并网配套设施，提升电网对新能源的接纳与适配能力，增强系统运行灵活性，有效平抑新能源并网带来的波动，保障电网稳定运行。（2）全面推广数字孪生、智能运维等先进技术，覆盖发电、输电、配电、用电全环节，实现设备远程监控、故障精准预判与自主自愈，提升电力系统自动化、智能化水平，降低运维成本，提高供电可靠性。（3）推动区域电力自动化协调发展，加大对偏远地区、欠发达地区的政策与技术扶持力度，完善基础设施建设，缩小区域发展差距，实现电力自动化服务全域覆盖、均衡发展[5]。

4.3 管理与人才层面：完善机制与强化人才支撑

（1）完善电力市场化机制，推动电网调度体系与电力市场高效衔接，健全电能交易规则，充分发挥市场在资源配置中的决定性作用，优化电能资源配置效率，激发行业发展活力。（2）加强专业人才培养，聚焦数智融合与电力自动化交叉领域，搭建高校、企业联合培养平台，完善人才培养体系，培育兼具数智技术与电力专业能力的复合型人才，补齐人才缺口，为行业发展提供智力支撑。（3）健全行业标准体系，规范电力系统自动化技术应用与产业发展，加强国际合作与交流，引进先进技术经验，推动我国电力系统自动化技术与标准走向国际，提升行业国际竞争力。

结束语

电力系统及其自动化的发展是数字革命与能源革命深度融合的必然结果，其高质量发展关乎能源安全、绿色转型与社会进步。本文系统梳理其发展历程、现状与趋势，提出的对策建议贴合行业实际，可有效破解当前发展瓶颈。未来，需持续强化技术创新、优化应用布局、完善协同机制，推动数智技术与电力系统深度融合，助力构建安全、高效、绿色、智能的新型电力系统，实现行业可持续发展。

参考文献

[1] 佘应德. 电力系统及其自动化发展趋势 [J]. 电力系统及自动化,2022,12(08):91-93.

[2] 于洋, 赵璐. 电力系统及其自动化发展趋势 [J]. 中国电业与能源,2023,23(06):124-127.

[3] 莫范兵. 电力系统及其自动化发展趋势探析 [J]. 建筑设计及理论,2023,35(13):201-204.

[4] 郭鹏翔. 电力系统及其自动化发展趋势探究 [J]. 产业经济,2023,28(17):337-339.

[5] 王淼. 电力系统及其自动化发展趋势探究 [J]. 产业经济,2023,8(09):78-81.