

多维度背景下智能电网技术应用场景的思考和探索

文/王少林 杨 希 王荣强
国网新疆电力有限公司

智能电网作为中国电网现代化的核心，是实现“双碳”目标的重要途径，在智能电网三个层次标准架构体系基础上，系统总结了区块链技术、数字孪生技术、5G技术及深度学习技术在智能电网上应用的特点和场景分析，提出“以场景为主导，以设施为基础，以技术为核心”的多维度背景下智能电网未来发展格局的思考和探索。

智能电网技术概述

1. 技术概述

智能电网作为中国电网现代化的核心，具备强大的资源优化配置能力，具有更高的安全稳定运行水平，能够提供高度智能化的电网调度能力并实现全寿命周期管理，是实现低碳电力的基础和前提，已经成为当今世界电网发展的新趋势和新方向。

《智能电网技术标准体系（2010版）》是我国制定的第一个智能电网标准规划，可以分为三个层次：一是运营层，主要涵盖综合与规划、调度控制与交易及服务等内容；二是电力层，涉及智能发电、输变电、配电及用电等电力生产过程；三是支撑层，包含信息与通信、共性支撑等通用技术。智能电网以技术支撑为基础，以电力生产为中间环节，以规划服务为导向，形成不同层次之间的正反馈，同时三个层次又包括8个专业分支、26个技术领域等，将各个专业方向融合起来，形成完整、有序且系统的标准体系架构，如图1所示。随着智能电网技术的不断改进和完善，智能电网标准体系模型也在不断增加和优化，但其基本架构体系基础没有发生根本性的变化。

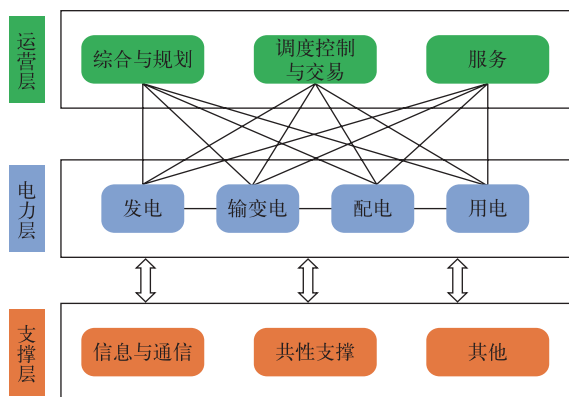


图1 智能电网标准体系分层架构

2. 智能电网的特点

由于智能电网不同层次包含的技术领域广泛，且能形成正反馈效应，因此，智能电网具有很强的智能性以及系统性，可以对各个电力传输环节进行优化，保证系统运行的协调性，实现对系统终端的无线控制。

1) 从技术层面来看。在运营层上，智能电网综合应用电网规划技术、继电保护技术、安全稳定分析与控制技术、调度自动化技术等；在电力层上，智能电网涵盖了特高压输电、智能输电线路、

配电网运行与控制、微电网、分布式电源并网、电能替代、综合能源及用电自动化等技术；在支撑层上，智能电网又将通信与网络安全、人工智能及超导电力技术等进行融合。因此，智能电网具有极高的效率 and 安全性。

2) 从应用层面来看。智能电网在电力技术以及电力规划上具有较为明显的优势。从区域性上来看，一方面可以实现大水电、大煤电、大核电及大规模可再生能源的跨区域、远距离、大容量、低损耗及高效率输送，使区域间电力交换能力明显提升。从应用范围来看，智能电网在智能调度、智能家电、智能用电楼宇、新能源、智慧城市用电、清洁能源的开发及智能物流等各领域都有极大的市场空间。总的来说，智能电网同时具有安全性、智能化、自愈性、及时性、集成性、精准性、互动性及抵御性等特点和优势。

多维度的智能电网技术的应用场景

1. 区块链技术在智能电网中的应用（运营层）

在智能电网运营层中，电力系统安全稳定规划、分析、调度控制和交易对实现智能电网终端来说至关重要。区块链作为一种去中心化的分布式数据库系统，可以进行分布式数据存储、加密算法及智能合约，具有去中心化、透明性、防篡改及共享性的特点，在数字货币、支付结算及能源交易等诸多领域应用广泛。因此，将区块链技术应用与智能电网系统安全测评管理系统具有广阔的前景。

1) 基于加密算法技术，实现高度安全性。区块链技术可以在传输过程中对数据进行加密，且数据一旦录入，无法被篡改，即使其中某一节点被入侵，也不会影响用户掌握数据。此外，区块链冗余特性可以在极大程度上强化数据的可靠性，且在运行过程中没有中心故障点，用户可以自行对数据采取加密处理。

2) 基于智能合约技术，实现漏洞修复。基于区块链技术的“公匙—私匙”是一种更加安全的身份验证模式，可以有效降低用户数据失窃或隐私泄露。在数据通信漏洞修复上，区块链技术可以将电力批发市场定价和结算进行整合分析，保障交易数据和通信不变，从根源上杜绝虚假数据进入、杜绝价格操纵等不利于市场健康发展的行为。

3) 基于分布式处理技术，实现智能判断。一般来说，基于区块链技术的智能电网数据管理框架会受到较多的信息波动，且信息波动频率较大，其应用价值也会逐渐增加。分布式处理可以依据传输节点对智能电网系统运转做出良性引导，智能电网系统会自动响应做出综合判断，形成分析报告，为分布式处理和计算提供保障。

我国于2017年开始，深入研究区块链技术在能源行业中的应用，并搭建了依托区块链技术的可再生能源绿色交易平台，先后在珠海、深圳蛇口及深圳南海工业园区进行了良好示范。

2. 数字孪生技术在智能电网中的应用（电力层）

在智能电网电力层中，输变电作为坚强智能电网的核心，对实现电网大建设的精准化、精细化、信息化和智能化的设计、施工及运维管控有着极其重要的作用。数字孪生作为一种通过创建互联数字孪生模型的电力生态系统，具有可视性、可预测性、可假设性、可解释性及可互动性等特点，可以刻画出交直流互联电网的复杂潮流改变和多时间尺度动态过程，帮助系统运营商发现电网薄弱环节，优化电网运行方式和改进系统规划设计方案。智能电网数字孪生主要有实物系统的量测感知、数字空间建模及仿真分析决策三个主要技术环节。

1) 基于实物系统量测感知技术，实现智能巡检。智能电网利用泛在传感网络获得海量系统状态数据，实现物理系统与数学模型之间的同步，建立输变电数字孪生模型，借助智能终端及现场勘察设备，快速获取现场的数据、照片及视频，经过实际场景和模型的对比、分析，快速及时发现安全隐患，实现智能巡检。

2) 基于数字空间模型技术，实现监测可视化。通过建立信息物理电力网络的三维模型监测数据模型，实现对复杂的“信息—能量—环境”的模拟，在三维可视化的环境中实现动态监测设备运行状态，查看各类运行参数，对工作状态进行实时监测，做到变电站远程实景监控。

3) 基于仿真分析决策技术，实现数字资产管理。利用数字孪生模型，快速构建数字资产管理系统，一方面从图形角度，通过查看和使用带空间定位的资产及相关信息，提高决策能力；另一方面，通过空间坐标、沿线性网络的位置或与其他资产的

接近程度来定位资产，进行复杂的线性分析，实现沉浸式的数字化资产管理运营。

目前，清华大学研究团队研发了一种智能电网数字孪生原型系统——基于云计算的电力系统仿真平台（CloudPSS平台），并进行了部分积极的实践。

3. 5G技术在智能电网中的应用（支撑层）

在智能电网支撑层中，信息与通信的安全性和稳定性作为智能电网的重要支撑，是大规模实现智能电网的关键一环。目前，部分业务对通信时延要求在15 ms以内，现有网络时延慢导致了基于移动通信的电网行业的应用和发展受到限制。而5G技术因具有超高带宽、超低时延及超大规模连接等技术特性，可以赋能智能电网更快的速度、更低的功耗、更高的时效和更大规模的应用。主要分为四个方面：

1) 基于低时延，实现精准保护性能。利用5G小于1 ms的超低时延，根据电负荷需求侧响应，实现在分布式能源调控、实时感知及配电自动化领域的应用，同时可以大幅减少光纤部署，降低部署难度，增加效益。

2) 基于大带宽特性，实现无人巡检。利用5G的Gbps大带宽特性，采用5G无人机、巡检机器人进行巡检，基于物联网的融合状态监测，通过实时传输视频，降低人工成本和安全风险，提升巡检效率。

3) 基于大连接特性，实现高级计量。通过接入大量的智能电能表，将连接数大幅度增加，将数据采集频次提升至分钟级，负荷控制精准控制能力将提升至毫秒级、节点级，实现用电信息的自动采集、计量异常监测、电能质量监测、用电分析和管理及信息交互等功能，为用户提供个性化需求服务。

4) 基于网络切片技术，实现自主控制。通过网络切片技术定制行业专网，实现复杂环境下的智能诊断和维护，提高电网业务的安全性、可靠性和灵活性，实现差异化服务保障，提升对自身业务的自主可控能力。

自2018年以来，依托5G规模组网建设与应用示范工程，我国已提出5G端网络切片总体架构和解决方案，在深圳实现了国内外首例5G SA网络切片从

切片订购、切片配置及切片部署到切片监控的全流程拉通，同时从顶层设计、国际标准、关键技术及现网试点到业务运营，开展了一系列卓有成效的5G创新应用合作。但应用于智能电网在5G技术水平、面向5G的智能电网业务的技术、通信终端及通信模块等方面仍存在诸多挑战。

4. 深度学习技术在智能电网中的应用（多层次）

随着智能电网建设的不断更新，其在规划、运营及维护等方面产生的数据呈指数增长，这些数据因具有规模性、多样性、高速性及低价值密度性，在一定程度上挖掘存在难度。深度学习是一种基于人工神经网络的人工智能技术，将深度学习应用于智能电网，可以缓解智能电网高维复杂数据的挖掘及特征提取难度，弥补传统机器学习方法在实际应用中的训练数据不足，解决泛化能力差等问题，大大提高智能电网的稳定性和可靠性。

1) 基于图像处理技术，实现故障诊断。我国的电力系统发电层主要由发电、输电、变电及配电等环节构成。深度学习算法具有面向底层原始数据，逐层训练得到高层故障特征，通过对不同电力故障场景下图像数据以及空中飞行平台的大量航拍图像等底层特征进行深度学习和智能判断，可以有效消除人工特征提取与选择带来的不确定性，实现故障智能诊断。

2) 基于数据深度学习，实现智能调控。电力系统是一个多输入、多输出的高维非线性系统，而深度学习在高维数据特征提取、模型建立、数据拟合、群体优化及强化学习等算法相结合上具有一定优势，可以实现运营层综合规划和智能调度等。

3) 基于数据学习预测，实现负荷预测。负荷预测是电力系统规划运行的基础，涉及智能电网的各个层次，深度学习可以根据历史数据，提取数据主要特征，进行模型训练和分析，通过不断优化群体、强化学习实现负荷的短期预测。

“多维度+智能电网”未来发展趋势的思考

智能电网作为一种“技术综合体”，除了本文主要介绍的四种技术外，智能电网中还有非常重要的云计算、大数据、特高压及分布式电源等诸多技术，未来要在多维度背景下实现多技术融合，就要形成“以场景为主导，以设施为基础，以技术为核

心”的多维度智能电网格局。

1) 要丰富和完善新一代智能电网标准体系。智能电网标准体系是实现多维度背景下多技术融合的基础,要以问题为导向,市场需求为方向,根据不同技术的特点、优势及场景分析,细化智能电网三个层次的标准体系、技术种类及专业领域方向等,满足智能电网深化应用和工程建设需要,加快突破基础共性技术,促进产业升级。

2) 要融合和发展不同场景下的多维度技术。要满足智能电网在不同场景条件下的智能化,就必须要将不同技术进行融合和反馈,尤其对我国来说,既要有可以连接大煤电基地、大水电基地、大核电基地及大可再生能源基地各级电网协调发展的坚强智能电网的5G通信技术、特高压电网技术、云计算及电能替代等技术,也要有局域范围内实现电力智能分配、智能结算、继电保护及市场调度的区块链技术、数字孪生技术及深度学习技术等。因此,“场景+技术+效益”是未来智能电网的主要发展形势。

3) 要加强和优化智能电网基础设施建设。智能电网的应用场景实现的根本是基础设施的建设。一方面是大水电基地、大核电基地及大可再生能源基地的发电基础设施;另一方面是完善对5G+工业互联网、特高压、新能源汽车充电桩及“互联网+”智慧能源等众多新型基础设施的建设。

结束语

本文以智能电网的三个层次标准体系为研究对象,根据智能电网标准体系层次特点,研究了区块链技术、数字孪生技术、5G技术及深度学习技术四种技术在智能电网上应用的优势、特点,并对四种技术的智能电网应用场景进行了具体分析,在我国智能电网现有基础上,提出“以场景为主导,以设施为基础,以技术为核心”的多维度背景下智能电网格局,为我国智能电网未来发展提供一种积极的探索思路。EA

参考文献

- [1] 张晶,代攀,吴天京,等.新一代智能电网技术标准体系架构设计及需求分析[J].电力系统自动化,2020,44(9):12-20.
- [2] 杨雄.智能电网继电保护技术的分析[J].工程技术研究,2017(7):17-18.
- [3] 张根周.大数据在智能电网领域的应用[J].电网与清洁能源,2016,32(6):114-117.
- [4] 王心妍,蒋炜,秦龙.区块链技术下电力系统安全测评管理系统的应用[J].电力信息与通信技术,2020,18(6):68-74.
- [5] 胡畔,薄珏,刘育博,等.基于区块链技术的智能电网数据管理框架研究[J].东北电力技术,2021,42(4):11-23.
- [6] 刘格昌,李强.基于可搜索加密的区块链数据隐私保护机制[J].计算机应用,2019,39(S2):140-146.
- [7] 谢宏伟,郑涛.智能电网数据保护框架的建构[J].信息技术,2020,44(4):149-154.
- [8] 纪志伟.基于数字孪生的泛在电力物联网模型研究[J].电力学报,2020(3):6.
- [9] 王志鹏,兰峰,赵勇,等.数字孪生技术在坚强智能电网中的应用探讨[J].电气应用,2021(6):111-115.
- [10] 吴小燕,孟凡平,陈晨晨,等.试析深度学习在智能电网中的应用研究[J].电子元器件与信息技术,2020,4(12):120-121,123.
- [11] 周念成,廖建权,王强钢,等.深度学习在智能电网中的应用现状分析与展望[J].电力系统自动化,2019,43(4):180-191.
- [12] 韩松,刘俊,白殿臣,等.电力市场下基于深度学习的智能电网运行控制[J].信息技术,2021,45(3):125-130.
- [13] 罗微,谭锡林,蔡莹,等.面向智能电网的自适应调度管理机制研究[J].电气应用,2021,40(12):56-60,65.
- [14] 董雪,高远,敖炳.基于TDengine的智能电网监控系统数据存储方法研究[J].电气应用,2021,40(8):68-74.
- [15] 程杰,尚智婕,胡威,等.智能电网信息系统安全隐患及应对策略[J].电气应用,2020,39(4):99-102.
- [16] 舒心蕾,高阳.智能配电网保护自愈控制系统研究[J].电气应用,2021,40(11):42-46.