

基于新型电力系统的电力数字孪生系统模型构建与发展路径

赵其林¹ 于海生^{2,3} 彭卉² 牟江涛¹ 王誉博¹ 郭翔²

1 北京国网信通埃森哲信息技术有限公司 北京 100032

2 国网信息通信产业集团有限公司 北京 102209

3 福建亿力电力科技有限责任公司 福州 3500001

摘要: 在实现“双碳”目标、构建逐步提升新能源比例的新型电力系统背景下,新型电力系统对以建模仿真、深度学习与终端建设等技术为核心的电力数字孪生系统构建提出了迫切需求。本文分别从构建电力数字孪生系统服务新型电力系统的需求导向、物理模型与技术路线等方面进行分析研究,并基于技术维度的二者聚合提出发展建议,为公司加快构建新型电力系统提供决策参考。

关键词: 电力数字孪生系统; 新型电力系统; 技术路线; 物理模型

国家电网提出构建以新能源为主体的新型电力系统,明确了“双碳”背景下我国能源电力转型发展的方向。国家电网公司提出“一体四翼”发展总体布局,制定新型电力系统行动方案,推动数字技术赋能新型电力系统。随着变革的深入,物理世界的数字化程度不断提高,逐渐形成一个能够映射物理世界物质属性和社会属性的数字空间。“元宇宙”作为数字空间发展的最新形态,是构建网络空间命运共同体的重要赛道,受到各行各业高度关注。

1. 新型电力系统对电力数字孪生系统构建的发展需求

1.1 需要电力数字孪生系统基础层技术实现突破。

新型电力系统高比例新能源并网运行、高比例电力电子装备的“双高”特征^[1]决定了其弱抗扰性、低惯性、强不确定性、强非线性等4种技术属性,系统自身规模庞大、快速动态响应的特性对建模仿真、深度学习和终端建设等技术提出了迫切的改进需求,而这三项技术是构成电力数字孪生系统的基础层技术。

1.2 要求电力数字孪生系统的决策价值辅助升级。

虚拟孪生可以为物理空间提供诊断与预测^[2],建模仿真作为电力数字孪生系统的基础层技术,通过在接近现实条件下进行模拟分析与计算,给出电力物理空间在先决条件下的模拟结果,帮助管理者进行基于数据的精确判断与降低沉没成本,新型电力系统“高比例电力电子装备的并网需求”^[3]对基于故障诊断与预测分析的中观决策提出了较高要求,这必然要求电力数字孪生系统数字孪生与建模仿真的决策价

值进一步提升,以满足其决策前瞻性、准确性、动态性与过程性的发展需求。

2. 电力数字孪生系统构建的物理模型与技术路线

为有效促进新型电力系统建设和实现颠覆式创新,电力数字孪生系统构建不应局限于数据互动层、功能层的架构设计、技术开发与场景应用,还应在基础层开展深度研究,构建支撑电力数字孪生系统的多元物理模型,并基于物理模型形成电力数字孪生系统服务新型电力系统建设的技術路线图,对电力数字孪生系统的数据进行全生命周期管理,使其兼具知识图谱功能与应用属性^[4]。

2.1 电力数字孪生系统基础层物理模型

本文在对电力数字孪生系统进行文献调研、数据分析与比较研究后,基于数字孪生的分层理念和电力数字孪生系统关键技术,提出了适用于服务新型电力系统的电力数字孪生系统基础层物理模型,以期为进一步的基础研究提供理论依据。

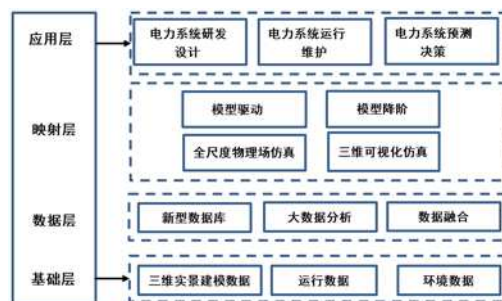


图1 服务于新型电力系统的电力数字孪生系统物理模型

该模型将一个电力数字孪生系统按作用取向进行分层,分别为基础层、数据层、映射层和应用层共4层,同时对每一分层所要构建的功能进行分配。在该电力数字孪生系统物理模型的基础之上,各细分产业或行业可在基础层开展深度学习、数字孪生等技术的研究突破,以三维实景建模数据、运行数据与环境数据为核心形成数据资产和原始性创新成果。

2.2 电力数字孪生系统基础层技术路线

基于电力数字孪生系统基础层物理模型和数字映射理论,可以发现电力数字孪生系统服务新型电力系统的技术路线图谱。第一步,构建一个能够与电力物理空间进行实时数据传输的多维通路。第二步,基于实时数据对需要解决的实际问题进行高度仿真的数字映射建模,然后对该模型进行进一步仿真分析。如仿真结果达到目标要求,则利用该数字映射模型进行辅助决策,利用映射模型提高生产效率、实现故障诊断与达到预警预测等目标。第三步,将整个数字映射过程范式化、精益化、结构化,固化为企业内部的数字化产品。

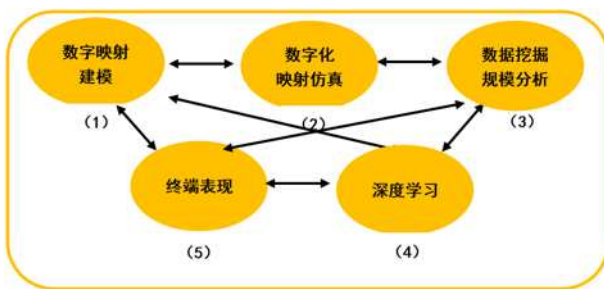


图2 技术路线图谱

1.3 数字映射建模是电力数字孪生系统的技术底座和发端。

相较于数理建模等传统建模,数字映射的建模既要电力物理空间的静态内外特征进行定量的三维建模,又要对电力物理空间的动态特征进行高度模拟,对电力对象的后台算法、运行特征等进行一体化数字化建模^[5]。新型电力系统的数字映射模型有数据驱动类统计模型和知识驱动类代数模型两种。前者具有代表性的是电力物理空间中以记忆神经网络为基础层技术的短期负荷预测模型^[6],后者具有代表性的是关于新型电力系统运行的逆向稳态数学模型^[7]。对于已有的数字映射建模而言,单一模型往往存在模拟度与时空维度不足的问题,需要对多种模型进行数学综合,这是电力数字孪生系统在未来实现突破性发展的基础与前提。多维复合

模型将解决单一模型模拟特征的不一致性问题,使得电力数字孪生系统解决复杂系统问题成为可能。

1.4 数字化映射仿真是反馈数字映射建模拟合度的基本方法。

数字化映射仿真的结果能反证数字映射体对电力物理空间的数据收集是否具备数量充分性与结构完整性,能反馈数字映射体对电力物理空间客观运行规律的模拟精度。复合数字映射模型每次微小的进步都依赖于仿真技术的支撑与贡献。目前数字化映射仿真技术还处于起步阶段,尚未进入到工程应用,既有技术大多以研究项目为主,其未来具有较好的发展潜力和广阔的应用前景^[8]。

1.5 数据挖掘与规模分析是解决新型电力系统核心难题的重要中介。

数据挖掘是电力数字孪生系统进行问题认识、故障诊断与结果预测等多元功能的技术支撑。在一个电力数字孪生系统中,用于数字技术的数据有少数数据价值低、实时密度高的特点,加之数字空间对技术的时效性整体要求高,因此需要通过更深度数据挖掘算法和数据规模分析对数据进行实时处理,使数据传递效率提高到现有水平一倍以上^[9]。

1.6 深度学习是数字映射模型对电力物理空间进行故障诊断、结果预测与辅助决策的创新性颠覆性技术。

深度学习技术在基础层将成为电力数字孪生系统技术的灵魂,以电力数字孪生系统为应用场景的深度学习技术可以对规模化大数据与实时数据作出多元非线性分析并同步模拟实训,最终使数字映射体在数据数量不充分、结构不完备的前提下,依然可以实现故障诊断、预测预警与辅助决策的核心功能^[10]。

在电力数字孪生系统基础层技术路线指导下,针对新型电力系统的具体问题可以给出具体多元的解决方案。以在该技术路线指导下构建的、基于LSTM(长短期记忆人工神经网络)的数字孪生系统解决方案为例,该系统方案可用于预测光伏发电的功率,并以后来的历年光伏数据证明了结果的准确性,这在一定程度上自洽了电力数字孪生系统基础层技术路线在解决新型电力系统问题方面所具备的实用性与可行性。

3. 电力数字孪生系统支撑新型电力系统的实施建议

电力数字孪生系统是新型电力系统数字化与现代化发展的关键,也是信通产业集团提出的重要建设任务之一。建

议在战略与管理层面组织出台专项规划和给予配套资金以形成产业链,助力新型电力系统的数字化转型。

基于对现行电力数字孪生系统技术的分析及其能源基础更强、层次更高、速度更快与数据更多等发展特点和趋势,提出电力数字孪生系统聚合于新型电力系统的关键技术与领域。

2.1 研究探索多维复合模型。

经过数学综合的多维复合模型,是未来电力数字孪生系统技术实现突破的关键,也是复杂映射系统迈向更高点的必经之路。多维复合建模的完成,使得复杂系统问题可在同一流程内完成,这种结果对新型电力系统“双高”问题的解决具有划时代意义。

2.2 拓展研究高维数据收集系统。

数字空间技术的发展需要基于物理空间传回的规模化数据,数据的数量充分性与结构完整性直接决定电力数字孪生系统模拟的精度。基于其基础性功能,数据收集系统的稳定性、数据传输装置的精确性及其在各种环境下工作的可靠性将是电力数字孪生系统未来研究的发展方向,也是未来研究的重点与难点。

2.3 加快研究超大规模计算系统及创新性算法。

电力数字孪生系统如要有效充分服务新型电力系统建设,需对数字化映射模型及模型输入端数据进行实时且规模化的计算,这必然要求加快研究超大规模计算系统及创新性算法,以便为电力数字孪生系统提供稳定性。

4. 结语

国家电网在第七十五届联合国大会上作出碳达峰、碳中和的郑重承诺,随后在中央财经委第九次会议上强调要构建以新能源为主体的新型电力系统,明确了“双碳”背景下我国能源电力转型发展的方向。国家电网公司提出“一体四翼”总体发展布局,发布《国家电网有限公司“十四五”数字化规划》、《构建以新能源为主体的新型电力系统行动方案(2021-2030年)》等文件,指出要加强电网数字化转型,提升能源互联网发展水平,建设清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好、开放互动的新型电力系统。

构建新型电力系统,数字化赋能是重要手段和发展方向。基于能源电力行业积累的丰富实践经验,立足新型电力系统重大需求,以数字技术和数据要素为驱动,提出电力数字孪生系统理论体系,打造新型电力系统创新发展数字引

擎,发展新业务、新业态、新模式,推动电网向能源互联网升级。

电力数字孪生系统是由数字基础设施、智慧中枢、数字主题馆、安全防护、数字生态5大部分共同构成的有机整体。电力数字孪生系统的五个部分相互作用,以四维空间的形态,实时高度仿真,充分发挥数据驱动能力,不断回顾过去,反复推演,精准预测,辅助并指导新型电力系统构建。

电力数字孪生系统是电力系统高度数字化的必然产物。随着新能源大规模开发并网,电力系统“双高”、“双峰”特征凸显,电源结构、电网形态、负荷特性、技术基础、运行特性面临深刻变化。推动能源革命与数字革命深度融合、提升电力系统数字化水平是实现电源侧高度清洁化、电网侧高度智能化、负荷侧高度电气化的重要手段。当电力系统数字化水平达到一定高度,数据要素全面激活,数字技术全面应用,数字业务全面部署,必然形成一个覆盖电力系统全过程、全环节的电力数字孪生系统。

电力数字孪生系统是电力数字技术体系化发展的必然趋势。云大物移智链等数字技术在电力系统中的引领效应日益明显,但应用分散、缺乏体系。总结提炼数字技术在电力系统的实践经验与应用规律,科学回答数字技术在新型电力系统构建中的角色定位,必然会形成一套电力数字技术体系化发展的指导理论—电力数字孪生系统,发挥数字技术最大价值。

电力数字孪生系统是电力多维数据价值释放的必然要求。随着新型电力系统建设不断深入,电力数据种类、数量迎来爆发式增长。通过梳理多元、混沌的数据关系,将原本单一的数据链条编织成多维数据网络空间,必然需要一套创新数据价值、延伸服务内涵的新技术、新场馆、新体验—电力数字孪生系统,推进新型电力系统数据共享、价值释放、生态共赢。

参考文献:

- [1] 以全会精神为动力 全力支撑新型电力系统建设 [J]. 马跃. 华北电业, 2022(02)
- [2] 支撑新型电力系统的数字电网标准体系 [J]. 陈浩敏; 马赞. 数字技术与应用, 2022(10)
- [3] 强化规划引领 全面推进新型电力系统建设 [J]. 刘大鹏. 华北电业, 2021(S1)
- [4] 新型储能产业发展对新型电力系统建设的促进研究

[J]. 张文智; 杨晋红; 贾艳刚. 新能源科技, 2023(01)

[5] 推动能源转型发展 助力实现“双碳”目标 在构建新型电力系统中先行示范 [J]. 谢永胜. 中国电业, 2021(08)

[6] “双碳”目标下的新型电力系统建设 [J]. 田春雨. 光源与照明, 2022(11)

[7] “双碳”目标下构建云南新型电力系统战略研究 [J]. 张秀钊; 毛玉敏; 杨玉琴; 吴政声; 万航羽; 赵爽; 王志敏. 电工电气, 2022(12)

[8] “双碳”战略下江西新型电力系统建设的目标与路径 [J]. 罗斌华; 田红豆; 钟凌鹏; 谢运生. 能源研究与管理, 2022(04)

[9] 提升信息通信数字化能力支撑新型电力系统建设 [J].

石俊杰; 赵子岩; 何永远; 闫龙川; 彭元龙; 马睿; 李进. 中国电力企业管理, 2023(01)

[10] 构建新型电力系统需要法治的服务保障 [J]. 董春江. 中国电力企业管理, 2022(34)

项目:

国家电网企业管理科学技术重点项目: 企业发展布局的理论框架、成效评价模型与应用研究 (5108-202218280A-2-183-XG)

作者简介:

牟江涛 (1987- 至今), 男, 山东潍坊人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事国有企业数字化转型与新型电力系统建设研究