基于源-网-荷-储的新型电力系统长期规划模型研究

文/朱明芳　徐　铤
国网江苏省电力有限公司苏州市吴江区供电分公司

研究了新型电力系统的技术特征，从能源供应的经济–政策不确定性和安全性两方面分析了其面临的挑战，提出了一款完整的新型电力系统长期规划模型，该模型以源–网–荷–储的技术经济参数、基准年数据和情景设置为数据源，涵盖电源规划、煤电退役、输电网规划、储能规划及影响分析五个方面的长期规划方案。

近年来，全面可持续发展已逐渐成为全球范围的共识。电力系统作为经济社会发展的重要支撑，其规划和运行对于能源资源的有效利用和环境保护至关重要。然而，随着人口的增长、工业化进程的加速以及新能源技术的快速发展，现有的电力系统面临着巨大的挑战和压力。传统的电力规划模型往往以经济效益为主导，忽视了对环境、能源资源等因素的综合考虑。随着全球气候变化的日益严峻，社会对清洁能源的需求不断增加，如何在保障电力供应的前提下实现低碳、高效、可持续的发展成为亟待解决的问题。

在此背景下，新型电力系统成为解决问题的关键。首先，新型电力系统注重可再生能源的开发和利用。通过大规模建设太阳能电站、风力发电场等可再生能源设施，新型电力系统能够大幅增加可再生能源的供应。同时，新型电力系统还注重提高可再生能源的利用效率，通过先进的技术和设备，提高太阳能电池板的转换效率和风力发电机组的利用率，最大程度发挥可再生能源的潜力。

其次，新型电力系统强调能源储存和调配的重要性。通过建设大规模的电池储能系统、抽水蓄能等储能设施，新型电力系统能够储存多余的电力，以备不时之需。同时，新型电力系统还采用智能电网技术，通过智能电能表、智能家居等手段，实现对电力的高效管理和分配，以最大程度满足不同地区和时间段的电力需求。

最后，新型电力系统注重智能化和数字化建设。通过引入先进的信息技术和数据分析技术，新型电力系统能够实现对电力系统的实时监测和管理，提高电力系统的运行效率和可靠性。同时，新型电力系统还能够通过智能电能表、智能家居等手段，鼓励用户节约用电，减少能源浪费。

因此，本论文旨在通过研究新型电力系统的长期规划模型，在满足能源需求、保障电力供应的同时降低环境污染和排放。

新型电力系统的技术特征

新型电力系统具备一些突出的技术特征，深入理解这些特征，对于实现可持续、高效和安全的能源供应至关重要。本文总结提取了新型电力系统的四个技术特征：高比例可再生能源、高比例电力电子、灵活柔性及安全可控。

1. 高比例可再生能源

随着对传统化石燃料的依赖减少和环境问题的日益凸显，可再生能源（如太阳能、风能和水能等）正成为新型电力系统的重要能源来源。相较于

传统能源，可再生能源具有无限的潜力和环境友好性，高比例可再生能源的应用对于实现能源供应的低碳化、减少温室气体排放具有重要意义。然而，高比例可再生能源的整合也面临着挑战，例如可再生能源的不稳定性、地域依赖性以及与传统电网的互联互通等问题。

2. 高比例电力电子

新型电力系统中，电力电子技术的应用越来越广泛，其作为能源转换和传输的关键技术发挥着重要作用。高比例电力电子系统能够实现电能的高效调节和控制，提高电力转换效率，并支持新能源的接入和集成。通过电力电子器件的协调运行，可以实现电压、电流和频率的有效调节，提高系统的稳定性和可靠性。此外，电力电子技术还可以提供通信和监控功能，为电网运行和管理提供更多的智能化支持。

3. 灵活柔性

新型电力系统注重实现灵活性和柔性，在供需平衡和负荷波动方面具备高度的适应性。灵活柔性允许电力系统根据实际需求调整电力的生产、传输和消费。通过建立灵活的电力调度和运行机制，电力系统更好地应对负荷的快速变化、可再生能源的波动以及电网故障的风险。灵活柔性的实现需要考虑调度优化、储能技术的应用以及需求侧响应等多个方面，以实现电力系统的高效运行和可持续发展。

4. 安全可控

新型电力系统强调安全可控性，即确保电力系统的安全运行和可控的能源供应。安全可控要求对电力系统的各个环节进行有效的监测和控制，及时发现和解决潜在的安全隐患。包括对电力设备、电网以及与之相关的信息系统进行全面的安全评估和管理。另外，安全可控还需要建立一套完善的应急响应机制，以应对突发事件和电力系统的故障，从而保障电力系统的安全稳定运行。

新型电力系统长期规划面临的挑战

新型电力系统的长期规划面临着来自能源供应的经济-政策不确定性和安全性方面的重要挑战。在经济-政策不确定性方面，参数不确定性和政策不确定性是影响电力系统规划调整和决策制定的主要因素。而在能源供应的安全方面，灵活性、充裕性、安全性和多时空功率平衡是确保电力系统稳定运行和可靠供应的关键要素。

1. 能源供应的经济-政策不确定性

（1）参数不确定性

新型电力系统规划中，涉及的各种参数如能源价格、技术水平等往往受到各种因素的影响而难以准确预测。能源价格的变化直接影响到电力系统的投资回报和经济效益，技术水平的不确定性影响电力系统的发展路径和成本效益。因此，如何对参数进行科学合理的确定和预测，成为新型电力系统长期规划中亟待解决的问题。

（2）政策不确定性

能源供应的政策环境对电力系统规划和经济效益产生重要影响。国家能源政策、市场机制以及环保标准等政策的变化和调整都会对电力系统的规划和发展产生重要影响。政策的不确定性不仅会导致投资者缺乏信心，影响资金的投入，也给电力系统的发展路径和运营方式带来不确定性。因此，为了稳定电力系统规划和发展，政府需要提供明确、稳定的政策环境，建立可靠的市场机制，吸引和引导投资者积极参与新能源的投资与开发。

2. 能源供应的安全方面

（1）电力系统灵活性

电力系统的灵活性是指系统在面对负荷波动和可再生能源波动时，能够快速调整发电和消纳能力，实现供需平衡。随着可再生能源的大规模接入，电力系统的灵活性成为确保可持续供电的关键因素。如何通过技术手段提高电力系统的灵活性，例如可调度性增强、储能技术的发展应用、智能电网的建设等，都是需要关注的重点。

（2）电力系统充裕性

电力系统的充裕性是指系统在各种意外情况下，能够稳定地满足电力需求，并确保供电的可靠性。新型电力系统需要考虑时空上的充裕性，即在不同的季节、不同的时段能够提供足够的电力供应。为实现电力系统的充裕性，需要合理规划发电资源的配置和容量建设，以及建立合适的备用机制，保障电力系统的可靠供应。

（3）电力系统安全性

电力系统安全性是指确保电力系统设备和用户

安全，并预防电网故障和事故的发生。安全性包括对电力设备、输电线路和变电站等进行有效的检修和维护，预防和隔离电力系统中的故障源并快速恢复供电。此外，建立完善的安全管理机制和紧急应对措施也是确保电力系统运行安全的重要手段。

（4）多时空功率平衡

多时空功率平衡是指在不同时段和不同区域，实现供需匹配和电力流动的平衡。新型电力系统面临来自可再生能源的波动性和负荷的不确定性，需要通过跨区域调度、灵活市场机制以及优化电力流动路径等手段，实现多时空功率的平衡。同时，跨区域和跨界电力交换等合作机制也需要加强，实现能源的优化配置和有效利用。

综上所述，新型电力系统的长期规划面临着能源供应的经济-政策不确定性和安全性两方面的挑战。针对经济-政策不确定性，需要加强参数预测和政策稳定性的研究，减少规划和决策中的不确定性。在能源供应的安全方面，需要关注灵活性、充裕性、安全性和多时空功率平衡等关键要素，通过技术手段和合作机制的提升，确保电力系统的稳定运行和可靠供应。为了应对这些挑战，政府、企业和研究机构应共同合作，制定合理的政策和规划，加强技术研发和创新，推动新型电力系统的可持续发展。

新型电力系统长期规划模型研究

基于上述问题，本文综合考虑多个因素，提出了一整套新型电力系统长期规划模型，旨在为电力行业的决策者提供如何合理、可持续地发展电力系统的指导意见。该模型涵盖了多个数据源，包括源-网-荷-储的技术经济参数、基准年数据和情景设置整体架构如图1所示。

首先，源-网-荷-储的技术经济参数是该模型的重中之重。这些参数包括电源特性、供应潜力、输电网特性、负荷曲线和储能特性。电源特性描述了不同类型电源的装机成本、排放强度、运行成本等关键参数，供应潜力考虑了不同电源的资源潜力和供电能力，输电网特性包括建设成本、线路类型和地理位置等信息，负荷曲线描述了传统负荷、新型负荷以及需求响应的情况，储能特性考虑了储能装置的建设成本、运行特性和地理位置等因素。这些技术经济参数提供了模型所需的关键数据基础。

第二个数据源是基准年数据，包括各区域的发电侧和电网侧数据。发电侧数据涉及煤电、水电、光电、风电等不同类型的发电情况，而电网侧数据包括输电线路容量和线路类型等信息。这些数据对于模型的建立和模拟至关重要，它们揭示了当前电力系统的状态和状况。

第三个数据源是情景设置，包括三个方向的设置，即目标、经济假设和负荷预测。目标是对电力系统发展的政策目标、碳排放目标、新能源电量目标和新能源装机目标的设定，经济假设包括折现率/利率、碳税、燃料价格和技术投资成本等因素的设定；负荷预测是对未来负荷需求的预估。这些情景设置对于模型的运行和最终规划方案的生成具有重要的影响。

基于以上的数据源，设计了特高压输变电工程长期规划模型。该模型的设计思路分为两个方向：总成本最小化和约束条件。总成本最小化包括电源、电网、储能、系统运行和碳排放成本等方面的考虑。通过考虑各项成本，模型能够找到一个在经济和环境上都能达到平衡的规划方案。约束条件方面包括短期运行约束和长期规划约束。短期运行约束考虑了实际运行过程中的限制条件，例如电网的承载能力和供需平衡。长期规划约束考虑了电力系统未来发展的限制条件，例如政策要求和技术可行性。通过考虑约束条件，模型能够生成符合实际情况的合理规划方案。

最终，该模型输出基于新能源开发建设的新型电力系统长期规划方案，包括电源规划、煤电退役、输电网规划、储能规划和影响分析等内容。在该方案中，模型综合考虑了各个方面的因素，使得规划方案在满足电力需求的同时，最大限度地利用新能源、减少碳排放并保证系统的稳定性和经济性。

综上所述，新型电力系统长期规划模型是基于多个数据源的综合性分析工具。通过综合考虑源-网-荷-储的技术经济参数、基准年数据和情景设置，该模型能够生成一个合理、可持续的电力系统规划方案。该方案综合考虑了总成本最小化和约束条件的目标，并最终生成了基于新能源开发的长期规划方案。这一模型的研究对于电力行业的决策和可持续发展具有重要意义。

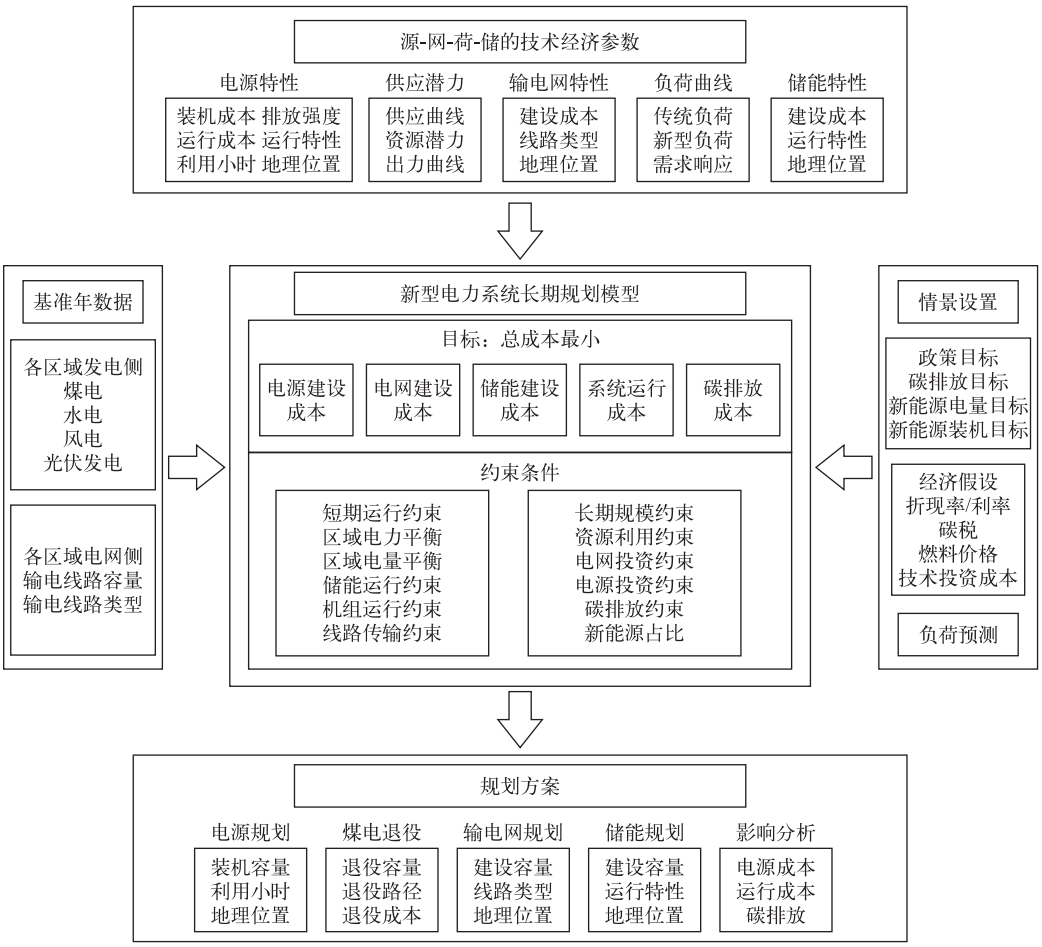

图1　基于源-网-荷-储的新型电力系统长期规划模型

结束语

在当前全球能源转型的背景下，新型电力系统的规划和发展至关重要。其包含高比例可再生能源、高比例电力电子、灵活柔性以及安全可控等四个技术特征，应用前景广泛。但新型电力系统的长期规划面临着来自能源供应的经济-政策不确定性和安全性方面的重要挑战。为了解决这一问题，本文设计提出了一款新型电力系统长期规划模型，可以为电力行业的决策者提供合理的规划方案，促进电力系统的可持续发展。通过综合源-网-荷-储的技术经济参数、基准年数据和情景设置，该模型能够利用总成本最小目标和约束条件两个设计思路，考虑多个因素的交互影响，精确评估未来电力系统的需求和供应状况，最终生成新型电力系统长期规划方案。在满足电力需求的同时，也充分利用新能源资源，减少碳排放，促进清洁能源的发展。EA

参考文献

[1] 朱轶伦，吴华华，谢宏福，等．新型电力系统环境下电网低碳经济调控方法[J]．制造业自动化，2023，45(7)：85-91，99．

[2] 任大伟，肖晋宇，侯金鸣，等．双碳目标下我国新型电力系统的构建与演变研究[J]．电网技术，2022，46(10)：3831-3839．

[3] 黎博，陈民铀，钟海旺，等．高比例可再生能源新型电力系统长期规划综述[J]．中国电机工程学报，2023，43(2)：555-581．

[4] 王光培，黄晓凡，王荣保，等．基于新型电力系统的储能技术研究[J]．电气自动化，2023，45(3)：85-88．

[5] 蒋家祥，倪铭伟．计及用能权的电力系统经济调度[J]．电气应用，2021，40(5)：82-87．