

[负荷预测]

基于多源数据融合的配电网多阶段扩展规划研究

文/陈桂芳 周华
绍兴建元电力集团有限公司越城分公司

为减小配电网在运行过程中的平均停电频率，利用多源数据融合，计算配电网负载率，对负荷进行预测。根据得到的预测结果，对经典场景和受限场景的配电网多阶段扩展规划。通过对比实验证明，新的规划方法与现有规划方法相比，可以有效地降低配电网的平均停电频率，促进配电网运行质量的提升。

配电网作为电力系统的重要组成部分，其规划与运行面临着日益复杂的挑战。在保障供电可靠性与安全性的同时，配电网还需要兼顾经济效益、环境友好性和未来扩展的灵活性。因此，对配电网进行科学合理地扩展规划显得尤为重要。文献[1]基于协同进化NSGA-II的配电网扩展规划方法，通过对单一或有限的数据源进行分析，来确定电网扩展的规模 and 方向。然而，这种方法存在明显的局限性。单一数据源往往无法全面反映配电网的复杂性和动态性，导致规划结果可能偏离实际需求。文献[2]基于负荷有序聚类的主动配电网储能规划方法，在实际应用中缺乏对未来能源结构变化和新技术发展的预见性，难以适应快速变化的电力市场环境。同时，上述两种方法在实际应用中，往往只关注电网的短期效益，忽视了长期发展的可持续性。

为了解决上述问题，近年来，基于多源数据融合的配电网多阶段扩展规划研究逐渐受到重视。多源数据融合技术能够综合利用来自不同领域、不同格式和不同准确度的数据，通过先进的数据处理和分析方法，提取出有价值的信息，为配电网扩展规划提供更为全面、准确和可靠的数据支持。同时，多阶段扩展规划方法能够充分考虑电网发展的长期性和阶段性，通过分阶段实施规划，确保电网在各

个阶段都能够达到预定的目标，并实现与未来发展的良好衔接。本文旨在探讨基于多源数据融合的配电网多阶段扩展规划方法，通过分析现有方法的不足，提出一种更为科学、合理和有效的规划方案。

基于多源数据融合的配电网负载率计算与负荷预测

在配电网的生产运行中，设备运行的关键数据依赖于一个高度集成的系统——计量自动化装置。该装置通过先进的遥测技术，能够实现对电网中关键位置的数据进行定期、精确地采集。这些关键位置主要指的是变压器的低压侧以及线路的出线端，它们是电网运行状态的重要监测点^[3]。为确保数据的实时性和准确性，计量自动化装置通常设定为每15 min进行一次数据采集。这种高频次的数据采集确保了配电网运行状态的实时监控，从而能够及时发现潜在问题并采取相应的措施。在数据采集方式上，装置采用了ABC三项独立采集的策略。这意味着，无论是电压还是电流数据，都会针对三相分别进行独立的测量和记录。这样的做法可以更加全面地反映电网的运行状态，提高数据分析的准确度和可靠性。具体采集的数据包括电压幅值和电流幅值。电压幅值反映了电网中电压的大小和稳定性，

而电流幅值则反映了电网中电流的大小和流动情况。这些数据对于分析电网的运行状态、优化电网配置以及预测电网故障等方面都具有重要意义。

通过综合考虑自然增长率对负荷预测的影响，配变负荷预测可按照下述公式进行分析和计算

$$P_n = P_{n-1} \times (1 + \eta) + \sigma \times \Delta S_n \quad (1)$$

式中， P_n 表示配变负荷预测目标年负荷； P_{n-1} 表示前一年实际配变负荷； η 表示负荷自然增长率； σ 表示实用系数； ΔS_n 表示负荷预测年新增负荷报装值。

在负荷预测领域，一种融合多源数据的方法被广泛应用。这种方法并非仅依赖于单一年份的数据，而是采用了一种逐步逼近的策略，逐年递进地向预测的目标年份推进。在这一方法中，配电变压器当前年份的负荷数据是通过高准确度的计量自动化系统获取的，确保数据的准确性和实时性。

关于自然增长率的计算，依赖于对历史运行数据的深入分析。通过对这些数据的细致研究，能够更准确地把握负荷的自然增长趋势。同时，业拓报装数据作为预测过程中的另一重要输入，来源于营销系统。这些报装数据直接反映了客户的新增用电需求和潜在负荷变化，对于配电变压器和线路的负荷预测结果具有直接且显著的影响^[4]。考虑到不同用电类型的特点，还在预测模型中引入了实用系数。这一系数的具体数值参考了相关标准或经验数据，见表1。

表1 报装实用系数取值

类型	第一年 σ 值	第二年 σ 值	第三年 σ 值
居民	0.06	0.14	0.22
商业	0.04	0.12	0.18
工业	0.22	0.32	0.36
其他	0.02	0.10	0.18

将表1作为依据，可以更精确地反映各种用电类型对负荷预测结果的实际影响。在当前的配电网生产实践中，负荷自然增长率的预设值通常是一个相对固定的范围，介于2%~4%。然而，为了提高负荷预测的准确性和精确性，可以基于配变的历史运行数据和报装数据，采用更为精细化的数学方法，对配电变压器的负荷自然增长情况进行差异化处理^[5]。具体来说，通过收集和分析配变的历史运行数据，结合当前的报装数据，运用下述公式动态地计算和确定负荷自然增长率

$$\eta_i = \frac{P_i - P_{i-1} - \Delta S_i}{P_{i-1}} - 1 \quad (2)$$

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i \quad (3)$$

式中， i 表示历史数据编号。

在考虑负荷用户的自然增长率时，必须认识到不同用电性质的负荷用户会展现出不同的增长特性，其变化范围大致符合2%~4%的行业经验值。然而，一个关键挑战在于配电网中配电变压器之间的供电负荷转移操作。这类操作会导致涉及转移的变压器在特定年份经历显著的负荷变化。将由供电负荷转移造成的负荷变化归类为自然增长是不准确的。这种归类方法会引入误差，影响负荷预测的精准性。

目前，配电网生产管理系统中尚未设立专项数据项来记录供电转移负荷的具体信息。因此，在分析和预测变压器负荷自然增长率时，需要借助数学方法，精心设计和实施数据处理策略，以有效排除供电负荷转移等因素带来的干扰，从而确保负荷预测结果的准确性和可靠性。

经典场景与受限场景的配电网多阶段扩展规划

对配电网进行多阶段扩展规划可以解决方案建设周期长，投资成本高的问题。在多阶段运行中对各运行场景生成非网络解决方案，方案周期更短，运行成本也更低。分别考虑在经典场景和受限场景中的配电网扩展规划目标。目标函数可表示为

$$\min C_{\text{Total}} = \sum_{n \in N} (1 + I_r)^{-n} (\rho + D) P_n \quad (4)$$

式中， C_{Total} 表示年化总修正成本； I_r 表示运行成本； ρ 表示修正成本； D 表示储能最大容量； n 表示最大电量。

在规划配电网的过程中，首先基于规划初始年的网络状态，通过求解一系列概率性的运行子场景问题，得出非网络相关的优化策略。随后，引入修正影子价格作为衡量资源受限程度的参考指标，以此筛选出受限最为严重的运行场景。

在规划优化的上层问题中，特别关注由这些受限严重的运行场景组成的集合，以寻求针对配电网网络结构的优化方案（ADNP网络解决方案）。在得到网络解决方案后，将其传递至下层，进行适应

性的详细评估。这一过程中，持续调整网络解决方案与非网络解决方案之间的平衡，确保它们能够相互补充、协同作用。通过迭代优化，当扩展规划方案在连续迭代中不再发生显著变化时，认为已找到了一个较为理想的规划方案，实现了网络与非网络层面的综合优化。

对比实验

通过上述研究，结合多源数据融合，提出一种全新的配电网多阶段扩展规划方法，为了验证该方法的应用效果，以图1所示某地区配电网为例，分别利用本文规划方法，文献[1]规划方法和文献[2]规划方法对该配电网进行规划。

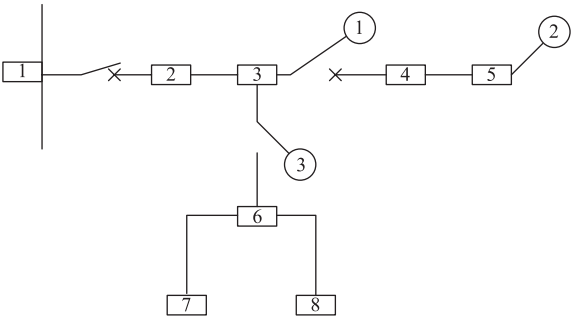


图1 某地区配电网线路图

图1所示配电网中包含的主要元件拓扑数据项见表2。

表2 配电网线路主要元件拓扑数据项

元件ID	元件类型	入线端节点编号	出线端节点编号
1	断路器	1	1
2	负荷开关	2	2
3	变压器	1	3
4	电缆	2	4
5	低压母线	3	5
8	架空线	6	8

针对该配电网，利用上述三种规划方法对其进行规划，并分别在经典场景和受限场景中运行，对比运行过程中配电网平均停电频率。上述指标可以通过以下公式计算得出

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i} \tag{5}$$

式中，SAIFI表示配电网平均停电频率； λ_i 表示负荷点等值故障率； Y_i 表示负荷点低压客户数目。将上

述公式作为依据，实验结果相关数据记录见表3。

表3 三种规划方法应用下配电网运行情况对比

方法	配电网平均停电频率（次/用户·年）	
	经典场景	受限场景
本文方法	1.25	1.36
文献[1]	6.36	11.52
文献[2]	6.98	15.31

在深入剖析表3中详尽的实验数据后，可以明确地看到，采用本文所提出的规划方法构建的配电网，在经受经典场景和一系列受限场景的考验时，其平均停电频率均稳定地保持在一个相当低的水平，不超过2.00次/用户·年。这一表现意味着，在正常的电网运行状态下，或是面对如天气极端变化、设备故障等不利因素时，用户都能享受到相对稳定的电力供应，减少因停电带来的不便和损失。

相较之下，文献[1]和文献[2]中所描述的配电网规划方法，在相同的经典场景中，它们的平均停电频率均显著偏高，达到了6.00次/用户·年以上。这意味着在这些传统规划方法下，用户可能会更频繁地面临停电的困扰，对日常生活和工业生产造成不小的影响。更为严峻的是，在受限场景中，这两种传统方法规划出的配电网的平均停电频率更是跃升至10.00次/用户·年以上，进一步加剧了电力供应的不稳定性和风险。

综合上述数据和分析，本文提出的规划方法展现了明显的优势。它不仅能够在正常情况下保持低停电频率，即使在面临各种不利因素时，也能有效地控制停电频率，确保电力供应的稳定性和可靠性。这一成果充分证明本文规划方法的有效性和实用性，也为未来的配电网扩展规划提供新的思路 and 方向。因此，有理由相信，采用本文提出的规划方法，可以使配电网扩展规划更加精准、高效，从而达到预期的目标。

结束语

本文基于多源数据融合的配电网多阶段扩展规划研究，提出一种全新的规划思路和方法。通过综合利用来自不同领域、不同格式和不同准确度的数据，成功构建一个全面、准确和可靠的配电网扩展规划模型，并通过实际案例验证该模型的有效性和实用性。研究成果不仅为配电网扩展规划提供了新

的理论支持和技术手段，还为智能电网建设和能源结构转型提供了有益的参考和借鉴。研究也表明，多源数据融合技术和多阶段扩展规划方法是未来配电网规划领域的重要发展方向之一。EA

(收稿日期：2024-06-11)

参考文献

- [1] 崇瑞堂. 基于协同进化NSGA-II的配电网扩展规划方法[J]. 电气技术与经济, 2024(4): 308-311.
- [2] 杜向阳, 熊小伏, 王建, 等. 基于负荷有序聚类的主动配电网储能规划方法[J]. 电力科学与技术学报, 2023, 38 (6): 187-197.
- [3] 宋卓然, 李剑峰, 范宇航, 等. “双碳”目标下电热-电蓄热接入配电网拓扑多目标规划[J]. 电力建设, 2024, 45 (4): 57-65.
- [4] 张美霞, 张倩倩, 杨秀, 等. 基于交通-电力均衡耦合的电动汽车快充站与配电网联合规划[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51 (11): 51-63.
- [5] 刘岑岑, 夏天, 李艳, 等. 基于显式可靠性指标的配电网多阶段扩展规划方法[J]. 中国电力, 2023, 56 (9): 87-95.

