

基于拓扑识别与人工智能算法的配电网线损率计算方法

王洪亮, 秦福祥, 原璐璐, 李英杰, 徐晓贝

(国网河南省电力公司鹤壁供电公司, 河南 鹤壁 458000)

摘要: 为提高配电网线损率计算的精度, 设计基于拓扑识别与人工智能算法的配电网线损率计算方法。根据配电网特性, 采集配电网运行状态数据, 得到配电网原始数据矩阵。对数据进行标准化处理, 利用拓扑识别提取出配电网数据的多个特征, 并计算出对应的特征权重值。据此分类配电网数据特征, 并计算出数据的适应度函数, 由此计算出更为精确的配电网线损率。实验结果表明, 和以往的配电网线损率计算方法相比, 设计的基于拓扑识别与人工智能算法的配电网线损率计算方法在实际应用中计算结果与实际结果基本吻合, 说明该方法计算精度较高。

关键词: 拓扑识别; 人工智能算法; 配电网; 线损率

中图分类号: TP183 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)05-0160-05

Calculation Method of Distribution Networks Based on Topology Recognition and Artificial Intelligence Algorithms

WANG Hong-liang, QIN Fu-xiang, YUAN Lu-lu, LI Ying-jie, XU Xiao-bei

(State Grid Henan Electric Power Company Hebi Power Supply Company, Hebi 458000 China)

Abstract: In order to improve the accuracy of the calculation of line loss rate in distribution network, this paper designs a calculation method of line loss rate in distribution network based on topology recognition and artificial intelligence algorithm. According to the characteristics of the distribution network, the operation state data of the distribution network is collected, and the original data matrix of the distribution network is obtained. The data is standardized, and the topology identification is used to extract multiple features of the distribution network data, and the corresponding feature weight values are calculated. According to the classification of distribution network data characteristics, and calculated the fitness function of the data, so as to calculate a more accurate distribution network line loss rate. The experimental results show that compared with the previous calculation methods of distribution network line loss rate, the calculation results of the distribution network line loss rate calculation method based on topology recognition and artificial intelligence algorithm are basically consistent with the actual results in practical application, indicating that the calculation accuracy of this method is higher.

Keywords: topology recognition; artificial intelligence algorithms; distribution network; line loss rate

0 引言

配电网的线损率高低直接反映电力系统的运行效率和管理水平, 因此准确计算并分析配电网的线损率具有极其重要的意义^[1]。传统的线损率计算方法主要基于统计和经验公式, 难以准确反映配电网的实际情况^[2], 故已有研究学者针对线损率计算展开了研究, 并取得了一定的成果。

文献[3]中将等值电阻法应用到配电网线路线损计算中, 首先分析线损产生原因, 并对常用的线损计算方法进行分析, 结合配电网电能损耗计算的特点, 应用于 10 kV 配电线路的线损计算中。该方法所得结果误差较小, 但由于具体运算过程较为理想化, 实际应用性较弱。文献[4]

中将核主成分与随机森林相融合, 对配电网线损计算方法展开研究, 提取出与配电网线损相关的电气特征量后, 采用核主成分分析法对特征量进行处理, 再应用随机森林算法实现特征量与线损间的非线性复杂映射, 由此完成对配电网线损的计算。该方法整体思路清晰, 能够在一定程度上有效提高配电网线损计算的准确性, 但是计算量较大。文献[5]中提出了基于改进循环神经网络的配电网超短期功率预测方法, 利用小波变换和自注意力机制对循环神经网络模型进行改进, 实现配电网超短期功率预测。该方法提升了预测精度, 加快了收敛速度, 但只能进行预测, 难以实时计算。

为了解决上述问题, 本文设计了基于拓扑识别与人工智能算法的配电网线损率计算方法。根据配电网的实际情况, 获取配电网线损数据, 并对线损数据进行标准化处理, 在拓扑识别的作用下, 对配电网数据进行特征分

*基金项目: 河南省国网基金项目 (SGHAZZ00YWJS2000553)

收稿日期: 2023-12-20

类,在人工智能算法的作用下,计算出配电网的线损率。本文设计方法能够提高计算的准确率和效率,也能为配电网的运行管理提供更加准确、可靠的数据支持,有助于提高电力系统的运行效率和管理水平。

1 配电网线损率计算方法设计

1.1 配电网数据标准化处理

为实现对配电网线损率的精准计算,需要先利用配电网中多种数据采集装置和运行状态监控装置对配电网的运行状态数据进行采集。在采集数据时,采集的基础数据主要分为配电网的运行数据、负荷电量数据及其他数据这三种^[6]。其中,配电网的运行数据对线损率的计算结果影响较大,采集的运行数据包含电网运行方式、用电情况以及气候情况;负荷电量数据包含配电网运行过程中的电量变化情况;其他数据包括数据采集时配电网的环境温度、湿度等多种类型的数据。通过上述过程,得到相应的配电网数据,由此构建相应的配电网原始数据矩阵^[7]。配电网原始数据矩阵的具体描述如下所示:

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & X_{n3} \end{bmatrix} \\ \cos \theta_{ij} &= \frac{\sum_{k=1}^m X_{ik} X_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m X_{ik}^2 \sum_{k=1}^m X_{jk}^2}} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

式中, X 表示计算的配电网原始数据矩阵, X_{11} 、 X_{n1} 表示采集的配电网运行数据, X_{12} 、 X_{n2} 表示采集的配电网负荷电量数据, X_{13} 、 X_{n3} 表示采集的配电网其他数据, $\cos \theta_{ij}$ 表示配电网原始数据矩阵中不同数据的相似度, X_{ik} 、 X_{jk} 表示分别表示配电网原始数据矩阵中的任意数据。

通过式(1)得到配电网数据的采集结果后,为保证该数据在后续使用过程中的准确性,需要对数据进行标准化处理^[8]。具体计算过程如下所示:

$$\left\{ \begin{aligned} X' &= \frac{X - X_{\mu}}{X_{\sigma}} \\ X_{\mu} &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \\ X_{\sigma} &= \frac{\text{sqr}t\left((x_1 - X_{\mu})^2 + (x_2 - X_{\mu})^2 + \dots + (x_n - X_{\mu})^2\right)}{n} \end{aligned} \right. \quad (2)$$

式中, X' 表示数据标准化处理的结果, X_{μ} 表示采集的配电网数据均值, X_{σ} 表示采集的配电网数据标准差, x_i 表示配电网原始数据矩阵中随机数据, n 表示采集的配电网原始数据数量。

通过上述公式,完成对配电网数据的标准化处理,提高了配电网数据的质量,为后续配电网线损数据特征分类奠定基础。至此,配电网数据标准化处理完成。

1.2 基于拓扑识别的配电网数据特征分类

将上述标准化处理的配电网数据作为基础,先提取出配电网数据的特征。本文在提取配电网数据特征时,引入拓扑识别技术来提取出对应的特征。拓扑识别作为一种网络技术,用于配电网中不同电力设备之间的连接关系,由此了解配电网的结构组织方式^[9]。在实际应用中,通过对配电网中的电力设备进行分析,提取出其中的拓扑结构特征,再将提取的数据特征进行分类^[10]。其数据特征分类的具体过程如图1所示。

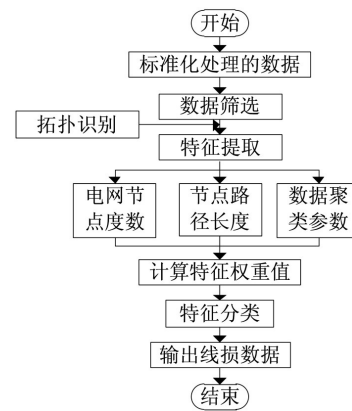


图1 基于拓扑识别的配电网线损数据特征分类流程

在图1的特征分类流程中,以经过式(2)计算过程标准化处理的数据作为基础,先对其进行数据筛选,筛选其中质量较高的数据;再利用拓扑识别,提取出数据的多个特征,如配电网节点的度数、节点路径长度、数据聚类参数等;最后对提取的特征进行分类处理,从中筛选出线损数据的特征,得到相应的线损数据^[11]。在这一过程中,利用拓扑识别进行特征提取的具体过程如下所示:

$$\left\{ \begin{aligned} dis(c_i, d_{ij}) &= \sqrt{(c_i - d_{ij})^2} \\ I &= \sum_{j=1}^k \sum_i^n \|D_i - p_k\| \end{aligned} \right. \quad (3)$$

式中, $dis(c_i, d_{ij})$ 表示提取的拓扑结构特征, c_i 表示单个配电网数据的特征向量, d_{ij} 表示设定的标准特征向量, I 表示设定的阈值, D_i 表示配电网数据的成本函数, p_k 表示提取的数据特征的位置。将提取出的配电网数据特征值与设定的阈值相对比,若两者相差过大,则说明当前特征为无效特征,可以直接进行删除;反之,则说明当前特征为有效特征,可以将其保留,用于后续的特征分类^[12]。

通过上述过程完成数据的特征提取后,需要对数据进行特征分类。在进行特征分类前,需要先计算提取特

征的权重值,由此来确定提取特征的重要程度。其特征权重值的具体计算过程如下所示:

$$\begin{cases} w = w_{\max} - (w_0 - w_{\max}) \sqrt{\frac{t_c}{t_{\max}}} \\ t_c = \varphi(\|c_i - u_i\|) \end{cases} \quad (4)$$

式中, w 表示计算出特征的权重值, w_{\max} 表示提取的所有特征中最大的权重值, w_0 表示配电网数据的初始惯性权重值, t_c 表示激活函数, t_{\max} 表示激活函数的最大值, $\varphi()$ 表示迭代函数, u_i 表示激活参数。

通过上述公式,计算出不同数据特征的权重值,以此为基础,对提取到的数据特征进行分类。其具体分类过程如下所示:

$$\begin{cases} L_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (c_{ik} - c_{jk})^2} \\ E = \sum_{i=1}^k \sum_{Z_q \in C_i} L_{ij} \times (Z_q - m_i)^2 \\ CH(k) = E \times \frac{trB(k)/(k-1)}{trW(k)/(n-k)} \end{cases} \quad (5)$$

式中, L_{ij} 表示数据特征与聚类中心的距离, c_{ik} 表示提取的配电网数据特征向量, c_{jk} 表示聚类中心的特征向量值, E 表示数据特征的收敛结果, Z_q 表示随机的数据特征, m_i 表示确定的聚类中心, $CH(k)$ 表示分类结果, $trB(k)$ 表示数据特征的迹, $trW(k)$ 表示聚类中心数据特征的迹, n 表示聚类的类别, k 表示当前的类别。

通过上述公式,完成对数据特征的分类,由此,筛选出其中的线损数据,为后续精确计算配电网线损率奠定基础。至此,基于拓扑识别的配电网数据特征分类的设计完成。

1.3 基于人工智能算法计算配电网线损率

利用上述配电网数据特征分类的结果,在人工智能算法的作用下,计算配电网的线损率。人工智能算法作为一种模拟人类智能的算法,能够通过学习数据或者经验,自动地对配电网当前的状态进行识别,从而优化线损率的计算结果,减小计算误差。在本文的设计中,利用人工智能算法计算对应的适应度函数,其具体计算过程如下所示:

$$f = \left[\frac{\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^N (L_k^m - A_k^m)}{2} \right]^{-2} \quad (6)$$

式中, f 表示计算出的适应度函数, L_k^m 表示计算出的理论线损值, A_k^m 表示实际的线损值。

通过上述公式,计算出对应的适应度函数,利用该函

数对线损率计算结果进行优化,由此得到更为精确的线损率计算结果。其具体计算过程如下所示:

$$\xi_i = \left(\frac{P_{1i}}{\sqrt{3}U} \right)^2 r_3 + \left(\frac{P_{2i}}{\sqrt{3}U} \right)^2 r_2 + \left(\frac{P_{1i}}{\sqrt{3}U} + \frac{P_{2i}}{\sqrt{3}U} \right)^2 r_1 + f \quad (7)$$

式中, ξ 表示计算出的线损率, P_{1i} 、 P_{2i} 分别表示在不同时间内,配电网线路的有功功率值, U 表示配电网的额定电压, r_1 、 r_2 、 r_3 分别表示配电网中不同电阻值。

通过上述公式,计算出对应的线损率,并利用适应度函数对其进行优化,进一步提高计算结果的可靠性。

至此,基于拓扑识别与人工智能算法的配电网线损率计算方法的整体设计完成。

2 实验测试

为提高实验结果的可靠性,设置对照实验。其中,以本文设计的基于拓扑识别与人工智能算法的配电网线损率计算方法为实验组,以文献[3]中的基于等值电阻法的配电网线损计算方法、文献[4]核主成分与随机森林相融合的配电网线损计算方法为对照组。为对比上述三种方法在实际应用中的效果,设计的实验具体如下。

2.1 实验准备

以某地区的配电网为例,该地区的配电网整体结构较为复杂,总共有188条线路,线路交错纵横,这些情况都给线损率的计算增加了难度。某地区的配电网部分结构如图2所示。

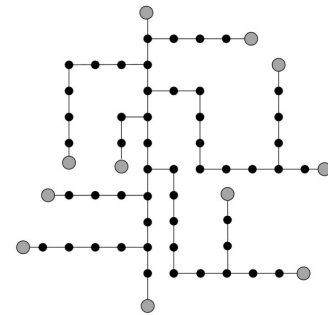


图2 某地区的配电网部分结构图

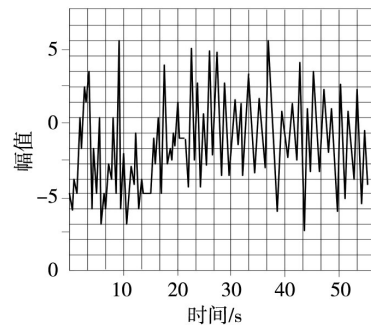


图3 某地区的配电网数据

由图2该地区配电网的部分结构可知,其整体结构较为复杂,故在实验中,需要利用传感器采集配电网数据。

其数据的采集结果如图3所示。

由图3可知,随着采集时间的增长,采集的配电网数据逐渐增多。从上述采集结果中可以看出,由于外界因素的干扰,采集的配电网数据中存在大量干扰因素,导致采集的数据中幅值波动较大。因此,需要利用本文设计的基于拓扑识别与人工智能算法的配电网线损率计算方法对该配电网数据进行标准化处理,以有效提高数据的质量,并将标准化处理后的数据作为本次实验的实验数据,进行后续实验。完成数据的标准化后,为进一步提高本次实验结果的可靠性,需要对采集的数据进行特征提取,并对提取的数据特征进行分类处理,其实验数据特征分类结果如图4所示。应用本文设计方法将实验数据集的特征分为三类,从中筛选出相应的线损数据,为后续计算对应的线损率奠定基础。

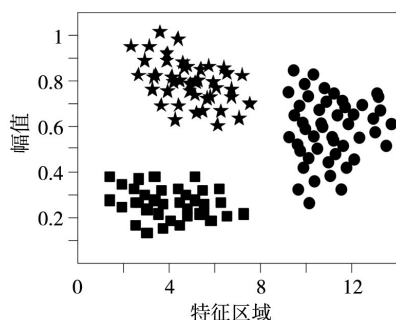


图4 实验数据特征分类结果

2.2 实验结果讨论

为验证上述三种方法在实际应用中的效果,以理论线损率与实际线损率的拟合程度为评价指标,进行实验测试。实验中,利用三种方法分别对配电网多条线路的线损率进行计算,将计算结果与实际线损率相对比,记录其统计结果,如表1所示。

表1 三种方法的线损率

配电网线路编号	实际线损率/%	三种方法的线损率/%		
		基于拓扑识别与人工智能算法的配电网线损率计算方法	基于等值电阻法的配电网线路线损率计算方法	核主成分与随机森林相融合的配电网线损率计算方法
#01	2.85	2.84	4.25	0.89
#02	4.32	4.31	6.32	2.31
#03	5.24	5.23	7.11	3.68
#04	3.69	3.68	5.78	1.23
#05	2.98	2.99	4.98	0.87
#06	4.11	4.12	6.32	2.13
#07	5.25	5.24	7.12	3.22
#08	6.12	6.11	8.96	4.12
#09	4.35	4.36	6.89	2.12
#10	5.36	5.35	7.59	3.25

如表1所示,在上述结果中,与实际线损率相比,本文设计方法的计算结果与实际结果相差不多,基本吻合,拟合程度较高。基于等值电阻法的配电网线路线损率计算方法的计算结果高于实际结果,且差距较大,拟合程度较低。核主成分与随机森林相融合的配电网线损率计算方法的计算结果远小于实际结果,拟合程度较低。由此可见,本文设计方法的拟合程度较高,在实际应用中计算精度更高。

为进一步验证上述三种方法的性能,以方法的鲁棒性为评价指标,对比三种方法的性能。实验中,在不同噪声环境下,利用三种方法对同一数据集进行实验测试,统计其计算出的线损率变化情况。其具体统计结果如图5所示。

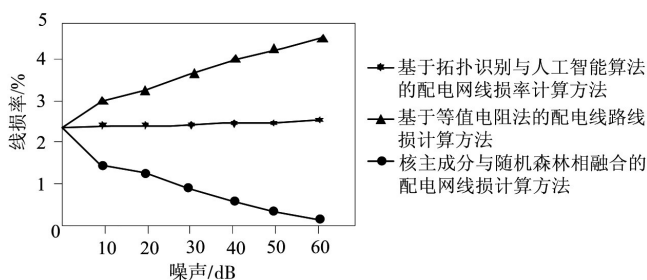


图5 三种方法的计算结果

如图5所示,随着噪声的增强,本文设计方法线损率的计算结果基本没有发生变化,基于等值电阻法的配电网线路线损率计算方法的计算结果随着噪声的增强逐渐变大,基于等值电阻法的配电网线路线损率计算方法的计算结果随着噪声增强逐渐减小,由此可见,本文设计方法的鲁棒性更强,在实际应用中计算精度更高。

综上所述,本文设计的基于拓扑识别与人工智能算法的配电网线损率计算方法在实际应用中,计算结果与实际结果的拟合程度最高,鲁棒性更高,计算精度更高,能够更加准确地计算出配电网的线损率,保证配电网的稳定运行。

3 结束语

本文提出了一种基于拓扑识别与人工智能算法的配电网线损率计算方法,通过拓扑识别,可以确定配电网的连接关系和结构,为线损计算提供更准确的基础数据。同时,人工智能算法可以有效地处理大量数据,预测线损率趋势,并提供优化建议。以此更好地了解配电网的运行状态,提高线损计算的精度和效率。本文设计方法能够有效处理配电网中的复杂情况和数据的不确定性,为配电网的运营提供有力支持。下一步需要对本文设计的方法进行研究和优化,使其具有更加广泛的应用价值。

参考文献:

[1] 胡壮丽,罗毅初,陈雪.考虑分布式新能源接入的智能配电网
(下转第187页)