

500 kV 线路阻抗参数数据分析及可信度研究

邱智勇¹, 倪腊琴¹, 崔帅², 龚仁敏³

(1. 国家电网公司华东分部, 上海 200120; 2. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 河北 保定 071003;
3. 北京中恒博瑞数字电力科技有限公司, 北京 100085)

摘要:针对继电保护整定计算中现有线路参数可能存在的缺陷,提出基于数据分析方法辨识线路阻抗参数。通过500 kV 线路阻抗参数的数据挖掘实践,总结了数据分析的思路与方法;基于 Tableau 建立了线路参数数据挖掘模型,通过数据的可视化展现,发现阻抗参数数据特征;从理论计算与阻抗参数实测法出发,论证分析了影响数据特征背后的机理;基于统计学的中心极限定理,提出了一种结合线路阻抗参数各指标数据特征的单位阻抗实测参数的预测方法,为整定计算线路阻抗参数的辨识及获取提出了新的方法。其研究方法对其他数据分析的研究应用有借鉴作用。

关键词:数据分析;数据挖掘模型;参数辨识;参数预测

DOI:10.19753/j.issn1001-1390.2019.015.011

中图分类号:TM93

文献标识码:B

文章编号:1001-1390(2019)15-0069-08

Data analysis and credibility study of impedance parameters of 500 kV transmission line

Qiu Zhiyong¹, Ni Laqin¹, Cui Shuai², Gong Renmin³

(1. East China Branch of State Grid Corporation of China, Shanghai 200120, China.
2. School of Electrical Engineering, North China Electrical Power University, Baoding 071003, Hebei, China.
3. Beijing ZhonHen JoinBright Digital Electrical Technology Company Limited, Beijing 100085, China)

Abstract: According to the possible defects of line parameters in relay protection setting calculation, this paper presents a method of identifying line impedance parameters based on data analysis. The ideas and methods of data analysis are summarized through the data mining practice of 500 kV line impedance parameters. A data mining model of line parameters is established based on Tableau. Through visualization of data, the characteristics of impedance parameters are found. Based on theoretical calculation and actual measurement of impedance parameters, the influencing data characteristics are demonstrated and analyzed. Based on the central limit theorem of statistics, a prediction method is proposed, which combines the characteristics of each index data on line impedance parameters. A new method is proposed for identifying and acquiring the parameters in relay protection setting calculation. The research method can be used for reference in the research and application of data analysis.

Keywords: data analysis, data mining model, parameter identification, parameter prediction

0 引言

基于模型的电力系统分析计算已经广泛地应用于电力系统规划设计、运行与控制中,比如继电保护整定、暂态稳定计算以及故障定位等等。电力系统模型参数是否精确对于电力系统的安全稳定运行至关重要,而输电线路作为联络电网的重要元件,其参数的准确性直接关系到电力系统的分析计算的可靠性与准确

性。对于继电保护定值整定计算来说,单一输电线路参数的较大偏差,直接影响到该线路保护的正确动作。如:使用偏差较大的线路参数可能引起线路距离保护 I 段瞬时误动,导致事故范围扩大,影响电网安全稳定。因此,获取真实的输电线路参数具有重要意义。

在继电保护定值整定的工程实践中,受制整定工期等因素,当线路没有实测参数时,采用设计值计算临

时定值;当参数实测之后,再采用实测参数计算修正定值。设计值的理论计算方法基于 Carson 模型^[1-4],在工程计算时采用简化了输电线路的电磁模型,不考虑温度、弧垂等不确定因素的影响,必然导致计算结果与实际情况不甚吻合。不同的运行工况必然导致理论计算无法反应输电线路真实参数变化情况,采用设计值计算必然存在较大误差,较大概率导致临时定值需要重算,增加整定工作者工作量。参数实测法需要附加试验装置设备^[5],其测量结果受测试仪表精度、测试人员水平影响。因此,有必要研究一种新方法辨识实测参数的正确性;另外,当参数还没实测时或不具备实测条件时,寻找一种精度更高的参数获取方法代替设计值计算,提高临时定值的准确性也显得尤为必要。

数据分析技术在商业领域的应用很多,在电力系统领域的应用也逐步开展起来^[6-15]。传统的数据分析及统计学理论,结合现代的数据库技术和人工智能算法,产生了数据库知识发现(KDD, Knowledge Discovery in Database)这门跨学科技术,也成为数据挖掘(Data Mining)技术,相关数据挖掘工具(如: Tableau、Power BI、Qlikview)也应运而生。Tableau 是一款定位于数据可视化敏捷开发和实现商务智能分析工具,可以用来实现交互的、可视化的分析和仪表盘应用,从而快速认识和挖掘数据。数据可视化让枯燥的数据以简单友好的图表形式展现出来,是一种最为直观有效的分析方式。无需过多的技术基础,即可运用其可视化和数据分析功能进行数据处理和展示,从而更好地进行数据挖掘分析工作。随着整定计算软件在电力系统的推广应用,已积累了大量的设备参数数据,为基于大数据分析技术的线路参数辨识奠定了数据基础。

因此本文将数据分析引入 500 kV 线路阻抗参数辨识及参数预测中,指出了数据分析的总体思路及方法,基于 Tableau 建立了线路参数数据挖掘模型,研究可靠的线路参数辨识模型、预测模型并对数据挖掘结果起到重要影响的因素进行了机理分析,证明了数据分析结果的有效性。最终,可将探索的辨识线路参数准确性的规则及基于实测数据预测结果应用到定值整定计算软件中,具有重要的工程实践意义;该方法对其他数据分析的研究应用有借鉴作用。

1 数据分析方法

通过线路参数数据挖掘实践,借鉴数据分析的其他应用,总结了数据分析如下方法体系。

1.1 数据分析总思路

为了实现对数据的分析,主要包括五个步骤:明确

目标、数据收集处理、数据分析、数据可视化及数据报告,如图 1 所示。其中数据挖掘分析与数据可视化相辅相成;数据可视化不单单是为了采用时髦手段来展示数据,更是通过可视化的形式,放大数据的含义,便于发现数据背后的价值。

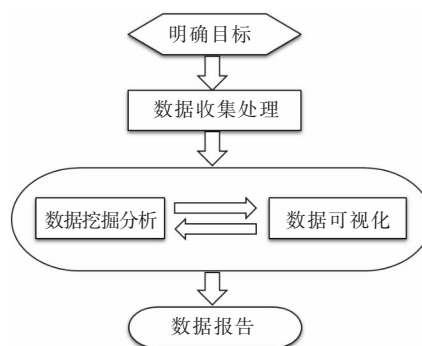


图 1 数据分析流程示意图

Fig. 1 Flow chart of data analysis

1.2 数据挖掘方法

明确数据分析目标,全面认清研究对象,如何具体开展数据分析,需要把分析目的分解成若干个不同的分析要点,包括需要从哪几个角度(如完整性、准确性等)进行分析,细化分析指标,确保分析框架的体系化和逻辑性。同时,结合业务的先验知识,建立正常、异常的标准。不仅是正常值对数据分析的标准研究、数据预测有用,对于异常值,可以帮助发现异常点,对异常背后的原因进行分析,制定改进策略;同时对于大量异常点,可能揭示了一种新现象的发生。随着数据不断探索及认知的深入,建立的指标不是一成不变的;正、异常值也可能相互发生转换。如图 2 所示。

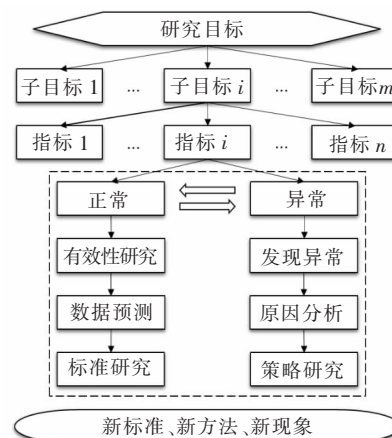


图 2 数据分析思路

Fig. 2 Data analysis idea

1.3 与传统方法的比较

与传统解决问题方法不同,数据分析方法是基于数据解决问题,图3给出了两种方法的对比示意图。传统解决问题方法是明确需求、分析问题、查找理论,从理论中寻找方法解决问题。而数据分析方法是针对需求中涉及到数据进行展现,通过数据的可视化展示总结数据的分布规律、关联关系,寻找到解决问题的办法,再采用理论论证结果的有效性;最后,不仅是解决了问题,而且可能发现先验知识的不正确、新的标准甚至新的现象。

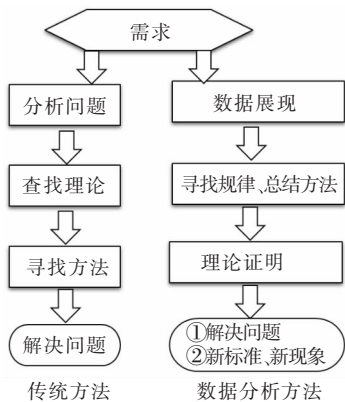


图3 数据分析方法与传统方法对比示意图

Fig.3 Comparison of data analysis method with traditional method

2 基于 Tableau 的线路模型及数据特征

本次数据挖掘对象为500 kV线路参数数据,主要对其阻抗参数进行正确性辨识,进而实现对实测参数预测;数据来源于整定计算系统,以颗粒化信息存储在SQLServer数据库中,在整定计算软件系统中数据已完成了相关整合,形成了统一的数据模型,数据的收集整理较为简单。将研究目标细分:线路整体情况、线路标么值计算异常分析、线路阻抗参数异常情况分析、线路实测参数预测等。不同分析要点建立了多维度分析指标。以对线路阻抗参数的异常分析、预测分析为例,确定了如下指标:

基础指标:

(1)设计值(即“工程计算理论值”):正序单位电阻(R/km)、正序单位电抗(X/km)、零序单位电阻(R_0/km)、零序单位电抗(X_0/km);

(2)实测值:实测正序单位电阻(mR/km)、实测正序单位电抗(mX/km)、实测零序单位电阻(mR_0/km)、实测零序单位电抗(mX_0/km);

(3)线路阻抗角度:正序阻抗角度(φ)、零序阻抗

角度(φ_0)、正零序阻抗差值($\varphi - \varphi_0$);

(4)关联分析指标:正零序电阻差值、正零序电抗比值。

在数据分析工具 Tableau 中建立模型,发现500 kV线路阻抗参数数据特征如图4所示。主要有:

(1)实测数据与设计值存在差异,对确定的导线型号、截面、几何均距,工程计算中采用了唯一的理论值,而实测值是围绕设计值变化的一堆值;相较电抗分量,电阻分量偏离设计值较多,而电抗分量中零序分量又比正序分量偏差大,以图4(a)所示;

(2)零序电阻分量与正序电阻分量差值以0.15为中心,数据的分布类似正态分布,如图4(b)所示;

(3)零序阻抗角度比正序阻抗角度要小,正序阻抗角度平均值为 86° ,零序阻抗角度平均值为 77° ,如图4(c)所示。

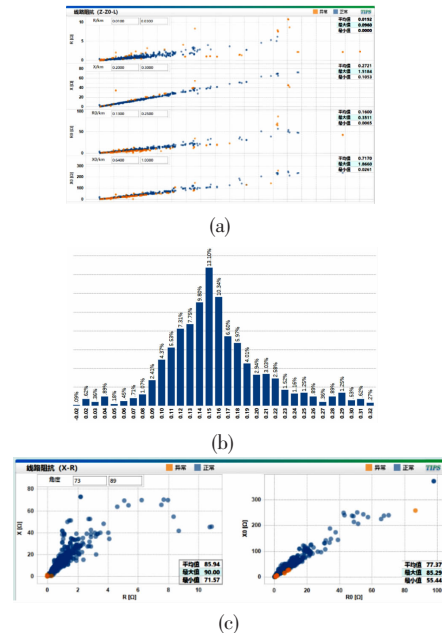


图4 线路阻抗参数分布特征图

Fig.4 Distribution characteristic charts of line impedance parameters

3 线路阻抗参数挖掘结果可信度分析

对上节分析结果进行可信度研究,验证其结果背后的机理,证明结论是否可用,以便于下一步的策略研究。

3.1 线路阻抗参数实测参数分析

首先分析线路的实测方法。

3.1.1 线路阻抗参数实测方法

(1)正序阻抗参数。

测量接线如图5(a)所示,试验步骤如下:

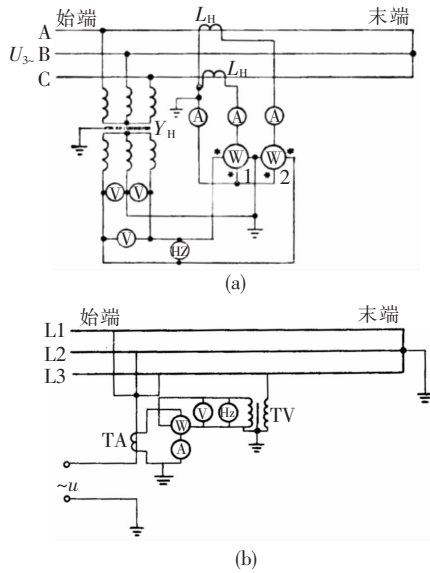


图5 实测线路阻抗参数电路示意图
Fig. 5 Circuit diagram of measured parameters
of line impedance

- (a) 将线路末端三相短路不接地；
(b) 在线路始端加三相工频电压，分别测各相电流、三相线电压和三相总功率；
(c) 将 A、B、C 三相移相，再做 B、C、A；C、B、A；A、C、B 共三次；
(d) 记录数据，对四次测得的电压、电流、功率取平均值；并按下式计算线路每相每公里的正序参数。

正序阻抗参数的计算公式为：

$$Z_1 = U/(\sqrt{3}I)/L \quad (1)$$

$$R_1 = P/(3I^2)/L \quad (2)$$

$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} \quad (3)$$

式中： Z_1 、 R_1 、 X_1 分别为单位正序阻抗、单位正序电阻、单位正序电抗； P 为三相总功率，为四次测量的平均值(W)； U 为三相线电压平均值(V)； I 为三相电流平均值(A)； L 为线路长度(km)。

(2) 零序阻抗参数。

测量接线如图 5(b) 所示，试验步骤如下：

- (a) 试验时将线路末端三相短路接地；
(b) 始端三相短路接单相工频电源，测量电流、电压及功率值；
(c) 在相同的试验电流情况下再倒相做一次，对电流、电压及功率值取倒相前后的平均值。

按下式计算零序参数：

$$Z_0 = 3U/I/L \quad (4)$$

$$R_0 = 3P/I^2/L \quad (5)$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} \quad (6)$$

式中 Z_0 、 R_0 、 X_0 分别为单位零序阻抗、单位零序电阻、单位零序电抗； P 为所测量的平均值(W)； U 为试验电压平均值(V)； I 为试验电流平均值(A)； L 为线路长度(km)。

3.1.2 测量误差影响机理研究

从线路的实测方法可以看出，测量参数的准确度受电压、电流、功率测量的影响。用灵敏度分析法进行影响程度分析，可以给出有指导性的结果。

系统变量 y 与参数 a 的关系为 $y = y(a)$ ，常用的一阶灵敏度函数表达式有：

绝对灵敏度函数：

$$S_a^y = \frac{d[y(a)]}{da}, \text{ 常常用于进行理论研究。}$$

相对灵敏度函数：

$$S_a^y = \frac{dy/y}{da/a} = \frac{a}{y} \frac{dy}{da}, \text{ 便于进行参数变异效应的比较, 十分实用。}$$

较，十分实用。

根据相对灵敏度的定义，推导正序、零序阻抗参数相对电压、电流、功率测量误差的影响分析公式。

根据式(1)，正序电阻相对灵敏度有：

$$S_P^{R_1} = \frac{\partial R_1/R_1}{\partial P/P} = \frac{P}{R_1} \frac{\partial R_1}{\partial P} = \frac{P}{P/(3I^2)/L} \frac{1}{3I^2 L} = 1$$

$$S_I^{R_1} = \frac{\partial R_1/R_1}{\partial I/I} = \frac{I}{R_1} \frac{\partial R_1}{\partial I} = \frac{I}{P/(3I^2)/L} (-2) \frac{P}{3I^2 L} = -2$$

根据式(1)-式(3)，有：

$$X_1 = \sqrt{\frac{U^2}{3I^2} - \frac{P^2}{9I^4}}/L \quad (7)$$

则正序电抗相对灵敏度有：

$$S_P^{X_1} = \frac{\partial X_1/X_1}{\partial P/P} = \frac{P}{X_1} \frac{\partial X_1}{\partial P} = \frac{P}{X_1} \frac{-2P/9I^4}{2X_1 L^2} = \frac{1}{1 - 3U^2 I^2 / P^2} \quad (8)$$

根据线路阻抗各分量之间关系，则有：

$$X_1 = Z_1 \sin \varphi_1 \quad (9)$$

式中 φ_1 为线路正序阻抗角。

根据式(1)、式(7)、式(9)，则有：

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi_1 \quad (10)$$

式(8)则变形为：

$$S_P^{X_1} = \frac{1}{1 - 1/\cos^2 \varphi_1}$$

同理，根据式((7)、式(10)可推导出：

$$S_U^{X_1} = \frac{\partial X_1/X_1}{\partial U/U} = \frac{U}{X_1} \frac{\partial X_1}{\partial U} = \frac{1}{1 - \cos^2 \varphi_1}$$

$$S_I^{X_1} = \frac{\partial X_1/X_1}{\partial I/I} = \frac{I}{X_1} \frac{\partial X_1}{\partial I} = -\frac{1}{1 - \cos^2 \varphi_1}$$

对零序阻抗参数同理可计算(推导过程略),则正、零序单位阻抗参数针对电压、电流、功率测量误差影响的相对灵敏度分析结果如表1所示。

当相对灵敏度 $|S_a^x| \leq 1$ 时,说明参数受该因子的

表1 正、零序阻抗实测参数相对灵敏度分析结果

Tab. 1 Relative sensitivity analysis results of positive and sequence impedance measurement parameters

分析项目		正序	零序
单位电阻	功率因素	1	1
	电流因素	-2	-2
单位电抗	功率因素	$\left \frac{1}{1 - 1/\cos^2 \varphi_1} \right \approx 0$	$\left \frac{1}{1 - 1/\cos^2 \varphi_0} \right \approx 0$
	电流因素	$\left -\frac{1}{1 - \cos^2 \varphi_1} \right \approx 1 \text{ 且 } \geq 1$	$\left -\frac{1}{1 - \cos^2 \varphi_0} \right \approx 1 \text{ 且 } \geq 1$
	电压因素	$\left \frac{1}{1 - \cos^2 \varphi_1} \right \approx 1 \text{ 且 } \geq 1$	$\left \frac{1}{1 - \cos^2 \varphi_0} \right \approx 1 \text{ 且 } \geq 1$
		$\left \pm \frac{1}{1 - \cos^2 \varphi_0} \right \geq \left \pm \frac{1}{1 - \cos^2 \varphi_1} \right , (\varphi_0 \leq \varphi_1), \varphi_1$ 为线路正序阻抗角、 φ_0 为线路零序阻抗角	

影响较小;相对灵敏度越高,说明该参数受该测量误差影响的因素越大。从表一的理论分析结果可以看出,电阻分量主要受功率表、电流表的测量误差影响,与电压表的测量误差无关;相对电抗分量,电阻分量受测量仪表的误差因素影响较大,特别是电流表的测量误差影响因素最大。电抗分量主要与功率表、电流表、电压表的测量误差有关,但受功率表测量误差影响较小,几乎无关;同时,从第2节的分析结果可以看出,对于500 kV 线路,线路正序阻抗角平均值为 86° ,线路零序阻抗角平均值为 77° ,由于零序阻抗角低于正序阻抗角,所以零序电抗参数比正序电抗参数受电流、电压表测量误差的影响要略大。

3.2 线路阻抗参数理论计算分析

架空线路参数的理论计算公式^[3]:

$$Z = R + j0.1451 \lg(D_{eq}/r_s)$$

$$Z_0 = R + 3R_g + j0.4351 \lg(660 \sqrt{\rho/f} / \sqrt[3]{r_s D_{eq}^2})$$

$$\begin{cases} \text{非铁磁质导线(铜、铝)} R \approx 0.316K \sqrt{\rho f}/r_s \\ \text{铁磁质导线(铁、钢)} R \approx 0.447K \sqrt{\rho f u_r}/r_s \end{cases}$$

式中 Z 、 Z_0 分别为线路正、零序单位阻抗; D_{eq} 为导线几何均距; R 为导线电阻; r_s 为导线有效半径; f 为频率; ρ 为土壤电阻率; R_g 为大地回路的等值电阻, $R_g = \pi^2 10^{-4} f$ 。

从理论计算公式可以看出,正零序电阻分量、零序

电抗分量的理论计算值应与土壤电阻率有关,而工程计算中采用设计值,未考虑不同地区土壤电阻率的不同,所以电阻分量、零序电抗分量偏离设计值较多,其特征与第2节看到的数据特征(1)一致,进而表明实测电阻分量、零序电抗分量与地域位置有关; $f = 50 \text{ Hz}$ 时, $R_g = 0.05$,单位零序电阻值比正序大0.15,这和实测参数两差值围绕0.15为中心的特征(第2节特征(2))一致,而且从理论计算公式可知,两者相差0.15且与地域无关;结合单位正序电阻、单位正序电抗、单位零序电阻及单位零序电抗大小关系,有 $R/(R + 3R_g) < X/X_0$,则有:

$$X_0/(R + 3R_g) < X/R$$

因此零序阻抗角低于正序阻抗角,与第2节看到的数据特征(3)一致。

3.3 图形分布特征的理论支撑

受第2节特征(2)图形分布特点启发,寻找理论支撑。根据中心极限定理^[16],当 n 充分大时,无论 X 服从什么分布,都近似有:

$$Z = \frac{\bar{X} - EX}{\sqrt{DX/n}} \sim N(0,1)$$

4 设备参数数据分析结果的应用

下面构建线路实测阻抗参数的辨识与预测方法。首先根据探索到被理论分析证明的数据特征以及业务经验,将实测数据中的异常值提取出来,如:正序阻抗

角度小于零序阻抗角度对应实测值、与设计值偏离过大的实测值等;将排除掉异常值的数据作为数据预测的数据源。

虽然整体分布形态未知,但是根据中心极限定理,只要从总体中抽取的样本容量 n 足够大 ($n > 30$),则这些样本组成的样本均值的抽样分布都近似于正态分布,即:可以由此来推断一定置信水平下的总体均值 μ 的区间。

总体均值的区间推断理论,可供选择的抽样分布有 Z 分布和 T 分布,分析此处的已知条件:样本容量 $n > 30$,进而可以计算出样本均值,以及样本标准差 S ,但是总体分布形态位置未知,总体标准差 σ_z 也未知。由此我们可以选择 Z 分布来推断总体均值 μ_z 的区间,并且要用样本标准差 S 来代替总体标准差 σ_z 来参与计算。

基于 Z 分布^[16-17] 的一定置信水平 $1-\alpha$ 下总体均值区间推断公式如下:

$$P\left(\tilde{x} - z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu_z \leq \tilde{x} + z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha, \text{ 式中 } x$$

为样本均值(指 mR/km 、 mX/km 、 mR_0/km 、 mX_0/km 任一变量); s 为样本标准差; n 为样本容量; $z_{\frac{\alpha}{2}}$ 是 Z 统计量的(此处可以基于指定的置信水平 $1-\alpha$ 查 Z 分布表获取)。

由此,在置信水平等于 $1-\alpha$ 的情况下,总体均值 μ_z 的置信区间推断公式可以表示为:

$$\left[\tilde{x} - z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}}, \tilde{x} + z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}}\right]$$

因此,根据 3.2 节的分析,考虑阻抗参数数据地域因素,计算衍生变量在给定显著水平 0.05 下,置信度 95% 的估计区间作为预测结果,根据具体的导线型号的理论参数为基础,预测出正、零序单位阻抗参数。

以导线型号 LGJQ-4 * 630 为例,工程计算采用的设计值如表 2 所示,在 Tableau 中运用 R 语言脚本建立预测模型,分析结果如表 3 所示。

表 2 LGJQ-4 * 630 单位阻抗参数设计值

Tab. 2 Design value of line model LGJQ-4 * 630 unit impedance parameters			
$R/(\Omega/\text{km})$	$X/(\Omega/\text{km})$	$R_0 - R/(\Omega/\text{km})$	φ_1
0.012	0.265 0	0.265 3	87.4
$R_0/(\Omega/\text{km})$	$X_0/(\Omega/\text{km})$	X_0/X	φ_0
0.165 4	0.660 1	2.565 0	75.9

表 3 基于 t 分布的 LGJQ-4 * 630 单位阻抗实测参数预测结果 (Ω/km)

Tab. 3 Prediction results of line LGJQ-4 * 630 unit impedance measurement parameters on t distribution (Ω/km)					
指标	地区	下限	上限	平均值	偏差百分比
、	AH	0.0221	0.0264	0.0242	101.67%
	JS	0.0166	0.018	0.0173	44.17%
	ZJ	0.0159	0.0185	0.0172	43.33%
X	AH	0.2628	0.2690	0.2659	0.34%
	JS	0.2588	0.2654	0.2621	1.09%
	ZJ	0.2644	0.2712	0.2678	1.06%
R_0	AH	0.1360	0.1721	0.1541	6.83%
	JS	0.1500	0.1642	0.1571	5.02%
	ZJ	0.1604	0.1772	0.1688	2.06%
X	AH	0.6878	0.7799	0.7339	11.18%
	JS	0.6680	0.7088	0.6884	4.29%
	ZJ	0.7465	0.7924	0.7695	16.57%
备注	偏差百分比 = 实测值平均值 - 设计值 / 设计值,下同				

由表 3 可以看出,采用电网中的实测值对导线型号 LGLQ-4 * 630 的实测数据进行实测参数预测,由于地区 AH、JS、ZJ 有陆地、临河、临海等不同特点,其土壤电阻率不同,正、零序电阻分量及零序电抗分量表现出地域性,比工程计算设计值采用唯一理论值更加合理;正序电抗分量与地域无关,与工程计算设计值一致。是否采用表 3 的预测区间进行判断就更合理,通过计算实测值预测均值与工程计算设计值之间的偏差可知,正序电阻分量的偏差非常大,最大达到了 101.67%,而同样与地理位置有关的零序分量偏差却维持在 5% 左右。通过第 3.1 节的实测阻抗参数灵敏度分析可知,电阻分量受测量仪表精度影响较大,对于正序电阻分量来说,由于单位正序电阻分量 R 绝对值较小,稍有误差,误差占的数据比重大,相对偏差就显得更大,但电阻分量又有地域性,因此寻找更有效的预测方法。

进一步用其他关联分析指标(正序阻抗角度 φ_1 、零序阻抗角度 φ_0 ,正零序单位电阻分量差值 $R_0 - R$ 、正零序电抗比值 X_0/X 进行预测,分析结果如表 4 所示。

$$\begin{aligned} \text{其中 } R_0 - R &= [mR_0/\text{km}] - [mR/\text{km}]; \\ X_0/X &= [mX_0/\text{km}] / [mX/\text{km}]. \end{aligned}$$

表4 LGJQ-4 * 630 单位阻抗实测参数关联
指标预测结果

Tab.4 Prediction results of line LGJQ-4 * 630 unit
impedance measurement parameter correlation features

指标	地区	下限	上限	平均值	偏差百分比
φ_1	AH	87.4071	87.4073	87.4072	0.01%
	JS	87.4061	87.4075	87.4068	0.01%
	ZJ	87.4072	87.4073	87.4072	0.01%
φ_0	AH	75.9331	75.9332	75.9331	0.04%
	JS	75.9326	75.9332	75.9329	0.04%
	ZJ	75.9331	75.9332	75.9331	0.04%
$R_0 - R$	AH	0.1218	0.1576	0.1397	14.92%
	JS	0.1342	0.1482	0.1412	14.01%
	ZJ	0.1444	0.1621	0.1533	6.64%
X_0/X	AH	2.5553	2.9660	2.7607	7.63%
	JS	2.5773	2.6930	2.6351	2.73%
	ZJ	2.7840	2.9666	2.8753	12.10%

从表4可以看出,这些关联指标与第2、3节分析结果更贴近,相对工程计算设计值偏差数据更为合理,因为通过差值、比值的关系,可以消除掉实测引起的部分误差。

因此,为提升辨识数据的有效性,结合线路阻抗参数各指标的数据特征,提出新的预测方法,思路如下:

(1) 构造变量 $R = ([mR/\text{km}] + [mR_0/\text{km}] - 0.15)/2$, 基于 t 分布预测不同地区单位正序电阻分量实测值 R ;

(2) 基于 R 的预测区间, 根据 $R_0 = [R] + 0.15$ 预测不同地区单位零序电阻分量实测值 R_0 ;

(3) 采用工程计算设计值作为单位正序电抗实测值 X 的值(与地区无关);

(4) 基于表4的指标 $[X_0/X]$ 的预测区间以及 X 的值, 根据 $X_0 = [X] [X_0/X]$, 预测不同地区的单位零序电抗实测值 X_0 。

该分析方法得到的区间作为导线型号 LGJQ-4 * 630 最终的预测区间用于整定计算的临时定值计算, 如表5所示; 而实测数据的辨识统一应用表3~表5各指标进行综合评断, 当某一指标异常时, 则将实测数据标识为异常数据, 最终根据各指标情况再结合人工进行辨识纠错, 做到预警时不漏判, 尽更大可能确保数据可靠性。

表5 基于改进方法的 LGJQ-4 * 630 单位阻抗
实测参数预测结果 (Ω/km)

Tab.5 Prediction results of line unit impedance
measurement parameters on improved
method (Ω/km)

指标	地区	下限	上限	平均值	偏差百分比
R	AH	0.0001	0.0183	0.0092	23.33%
	JS	0.0077	0.0149	0.0113	5.83%
	ZJ	0.0132	0.0214	0.0173	44.17%
X			0.2650		0.00%
R_0	AH	0.1501	0.1683	0.1592	3.75%
	JS	0.1577	0.1649	0.1613	2.48%
	ZJ	0.1632	0.1714	0.1673	1.15%
X_0	AH	0.6772	0.7860	0.7316	10.83%
	JS	0.6830	0.4454	0.6983	5.79%
	ZJ	0.4605	0.4907	0.7620	15.43%

应当指出,表3~表5的偏差百分比是预测区间均值相对于设计值的偏差,并不是越小越好,只是进一步说明了实测值与设计值存在偏差,与理论证明一致,但是偏差百分比也不能严重偏移设计值,从经验来讲,实测值应该是围绕设计值变化的数据。

5 结束语

采用500 kV 线路数据,通过对线路数据挖掘实践,总结了数据分析方法体系,基于 Tableau 建立了线路参数挖掘模型,实现线路参数的数据挖掘分析,发现实测数据隐患,预测线路实测阻抗数据,为整定计算阻抗参数的辨识及获取提出了新的方法;将文中研究成果应用到整定计算软件设备参数辨识中,对提高整定计算软件基础参数的准确性,进而提高定值整定的准确性,确保电网的安全运行具有重要意义,其分析研究方法对其他数据分析的研究应用有借鉴作用。

参考文献

- [1] 丁蓝. 基于 PMU 的输电线路参数辨识与戴维南等值研究[D]. 北京:华北电力大学, 2012.
Ding Lan. Study on Parameter Identification of Transmission Line and Thevenin Equivalent Based on PMU[D]. North China Electric Power University, 2012.
- [2] Carson J. R. Wave propagation in overhead wires with ground return[J]. Bell Sys. Tech, 1926,5: 539-554.
- [3] 刘万顺, 黄少锋, 徐玉琴. 电力系统故障分析[M]. 北京:中国电力出版社, 2010
- [4] Anderson P. M., Analysis of Faulted Power System[M]. Wiley-IEEE Press, 1995.
- [5] 李建明, 朱康等. 高压电气设备试验方法[M]. 北京: 中国电力出

- 版社.
- [6] 张东霞, 苗新, 刘丽平, 等. 智能电网大数据技术发展研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(1): 2-12.
Zhang Dongxia, Miao Xin, Liu Liping, et al. Research on Development Strategy for Smart Grid Big Data[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(1): 2-12.
- [7] 薛禹胜, 赖业宁. 大能源思维与大数据思维的融合(一)大数据与智能电网大数据[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(1): 1-8.
Xue Yusheng, Lai Yanning. Intergration of macro energy thinking and big data thinking part one big data and power big data[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(1): 1-8
- [8] 刘科研, 盛万兴, 张东霞, 等. 智能配电网大数据应用需求和场景分析研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(2): 287-293.
Liu Keyan, Sheng Wanxing, Zhang Dongxia, et al. Big data application requirements and scenario analysis in smart distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(2): 287-293
- [9] 王继业, 季知祥, 史梦洁, 等. 智能配用电大数据需求分析与引用研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(8): 1829-1836.
Wang Jiye, Ji Zhixiang, Shi Mengjie, et al. Scenario Analysis and Application Research on Big Data in Smart Power Distribution and Consumption Systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(8): 1829-1836.
- [10] 赵庆周, 李勇, 田世明, 等. 基于智能配电网大数据分析的状态监测与故障处理方法[J]. 电网技术, 2016, 40(3): 774-780.
Zhao Qingzhou, Li Yong, Tian Shiming, et al. A state estimation and fault processing method based on big data analysis of smart distribution network[J]. Proceedings of CSEE, 2016, 40(3): 774-780.
- [11] 宋亚奇, 周国亮, 朱永利. 智能电网大数据处理技术现状与挑战[J]. 电网技术, 2013, 37(4): 927-934.
Song Yaqi, Zhou Guoliang, Zhu Yongli. Present Status and Challenges of Big Data Processing in Smart Grid[J]. Power System Technology, 2013, 37(4): 927-934.
- [12] 韩笑, 狄方春, 刘广一, 等. 应用智能电网统一数据模型的大数据应用架构及其实践[J]. 电网技术, 2016, 40(10): 3206-3216.
Han Xiao, Di Fangchun, Liu Guangyi, et al. A Big Data Application Structure Based on Smart Grid Data Model and Its Practice[J]. Power System Technology, 2016, 40(10): 3206-3216.
- [13] 葛磊蛟, 王守相, 瞿海妮. 智能配用电大数据存储架构设计[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(6): 194-202.
Ge Leijiao, Wang Shouxiang, Qu Haini. Design of storage framework for big data of SPDU[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(6): 194-202.
- [14] 郝然, 艾芊, 肖斐. 基于多元大数据平台的用电行为分析构架研究[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(8): 20-27.
Hao Ran, Ai Qian, Xiao Fei. Architecture based on multivariate big data platform for analyzing electricity consumption behavior[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(8): 20-27.
- [15] 杨德祥, 刘东, 陆鸣, 等. 基于公共信息模型的特高压电网信息建模及应用[J]. 电网技术, 2014, 38(1): 255-263.
[15] Yang Dexiang, Liu Dong, Lu Ming, et al. Common information model based information modeling of ultra-high-voltage power grid and its application[J]. Power System Technology, 2014, 38(1): 255-263.
- [16] 沈恒范. 概率论与数理统计教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016
- [17] 谢运恩, 李安富. 人人都会数据分析: 从生活实例学统计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.

作者简介:



邱智勇(1977—),男,福建人,硕士研究生,高级工程师,研究方向为电力系统及其自动化。
Email: qiu_zy@ec.sgcc.com.cn

倪腊琴(1972—),女,江苏人,硕士研究生,高级工程师,研究方向为电力系统及其自动化。

崔帅(1988—),男,河北人,硕士研究生,讲师,研究方向为电力系统及其自动化。

龚仁敏(1977—),女,重庆人,硕士,教授级高级工程师,研究方向为电力系统继电保护定值整定计算与在线校核。

收稿日期:2019-05-22;修回日期:2019-07-16

(王克祥 编发)