

基于 BP 神经网络的 PMS 电流互感器设备状况评价系统

苏晓龙,夏 鹏,肖 波,王 龙,胡 靖
(国网武汉供电公司,湖北 武汉 430052)

摘 要:电流互感器作为变电站重要设备,其运行工况的好坏直接影响变电站的安全运行,电流互感器数量多,在运行中也经常会遇见电流互感器各种各样的缺陷,比如发热、漏油、低油位等。通过对 PMS 上电流互感器这个庞大的数据,单因素图表法分析电流互感器故障发生与其设备型号、设备生产厂家、设备投运时间之间的关系,多因素联合考虑,建立 BP 神经网络模型,综合考虑设备型号、设备生产厂家、设备投运时间因素,对其运行工况进行概率预测,同时对每个变电站符合模型要求的所有电流互感器进行预测,对容易发生电流互感器故障的变电站进行预警,运用地图无忧软件对 BP 模型计算的结果进行可视化展示,方便运维人员掌握电流互感器运行工况,对容易发生故障的电流互感器加强带电检测,提前安排检修,保障供电可靠性。

关键词:PMS 系统;BP 神经网络;故障预测;可视化

文章编号:2096-4633(2019)01-0060-07 **中图分类号:**TM43 **文献标志码:**B

在日益精细化的检修要求下,对设备运行工况的分布规律,运用数据挖掘的方法进行分析意义重大。电流互感器作为变电站重要设备,其运行工况的好坏直接影响变电站的安全运行,电流互感器数量多,在运行中也经常会遇见电流互感器各种各样的缺陷,比如发热、漏油、低油位等。该文对电流互感器 PMS 系统上的台账数据、电流互感器 PMS 系统上登记的各种缺陷数据进行挖掘,找出其中蕴含的相关规律,通过 BP 神经网络对所有电流互感器按照运行时间、设备型号、设备生产厂家进行故障发生概率预测,对发生故障概率较大的设备可以提前安排检修,减少非停,为调度制定停电方案提供一定的决策,对容易发生电流互感器故障的变电站进行预警^[1-5]。

1 考虑单个因素挖掘的电流互感器分布规律

1.1 按电压等级维护的电流互感器设备数量及缺陷发生次数情况

统计 PMS 系统上登记的所有电压等级的电流互感器,PMS 系统上登记的所有发生过缺陷的 PMS 数据,对这些数据进行筛选,武汉公司按电压等级分布的电流互感器数目如表 1、图 1 所示。

武汉公司按电压等级分布的发生缺陷的电流互感器数目如表 2、图 2 所示。

通过对 PMS 台账数据进行统计,我公司 10 kV

电压等级的电流互感器数目最多,占比达 69.08%,但是电流互感器故障多发生在 110 kV、220 kV 电压等级,110 kV 电压等级电流互感器故障最多,占比达 59.45%。

表 1 PMS 系统各个电压等级电流互感器
Tab. 1 Current transformer of each voltage level of PMS system

电压等级	电流互感器数目
6 kV	49
10 kV	12 731
20 kV	291
35 kV	834
110 kV	3 744
220 kV	780

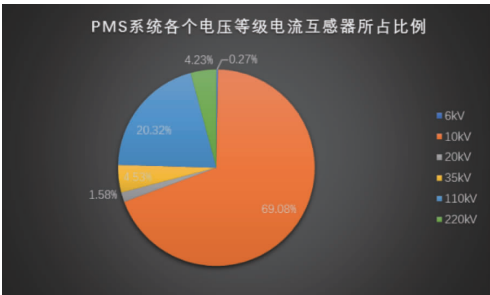


图 1 PMS 系统各个电压等级电流互感器所占比例
Fig. 1 The proportion of each voltage level current transformer in PMS system

表 2 PMS 系统各个电压等级电流互感器
发生缺陷次数分布

Tab. 2 Defect occurrence distribution of every voltage level
current transformer of PMS system

电压等级	电流互感器数目
6 kV	0
10 kV	19
20 kV	0
35 kV	15
110 kV	258
220 kV	142

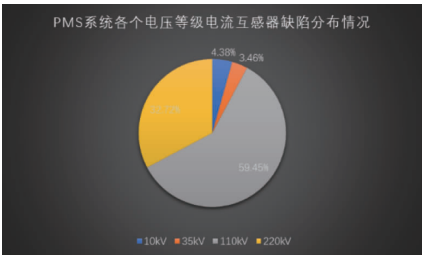


图 2 PMS 系统各个电压等级电流互感器缺陷
发生次数所占比例

Fig. 2 The proportion of defects in various voltage
level current transformers of PMS system

1.2 按生产厂家分类的电流互感器设备数量及缺陷发生次数情况

统计 PMS 系统上登记的所有生产厂家的电流互感器,PMS 系统上登记的所有发生过缺陷的生产厂家数据,对这些数据用 VBA 编程进行计数,武汉公司按生产厂家分布的电流互感器数目如图 3 所示。

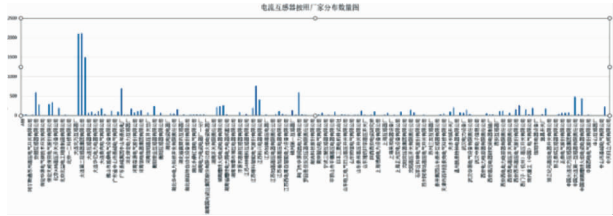


图 3 按生产厂家分类的电流互感器设备数量分布

Fig. 3 Distribution of current transformers by manufacturer

通过对 PMS 台账数据进行统计,我公司采购的电流互感器厂家较多的是大连北方互感器厂、大连第二互感器集团有限公司、大连互感器有限公司。

武汉公司按生产厂家分布的发生缺陷的电流互感器数目如图 4 所示。

通过对 PMS 台账数据进行统计,发生缺陷次数较多的电流互感器厂是衡阳崇业互感器有限公司、湖南醴陵电力电瓷厂、湖南电力设备总厂。

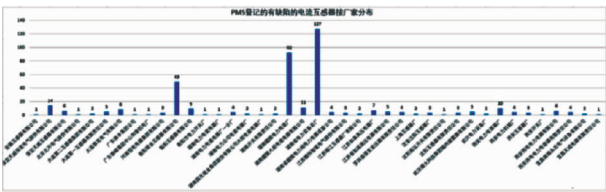


图 4 有缺陷的电流互感器按厂家分布情况

Fig. 4 Distribution of defective current transformers
according to the manufacturer

1.3 按设备类型分类的电流互感器设备数量及缺陷发生次数情况

统计 PMS 系统上登记的所有设备类型的电流互感器,PMS 系统上登记的所有发生过缺陷的设备类型数据,对这些数据用 VBA 编程进行计数,武汉公司按设备类型分布的电流互感器数目如图 5 所示。

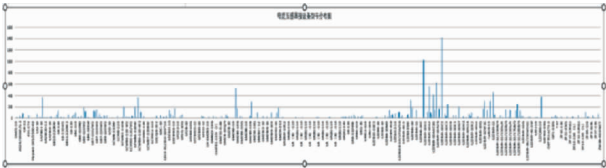


图 5 电流互感器按设备型号分布

Fig. 5 Distribution of current transformer according
to equipment model

通过对 PMS 台账数据进行统计,我公司采购的电流互感器型号最多的是 LZZBJ9-10C2、LZZBJ9-10、LZZBJ9-10A5G、LCWB6-110W2。

武汉公司按设备型号分布的发生缺陷的电流互感器数目如图 6 所示。

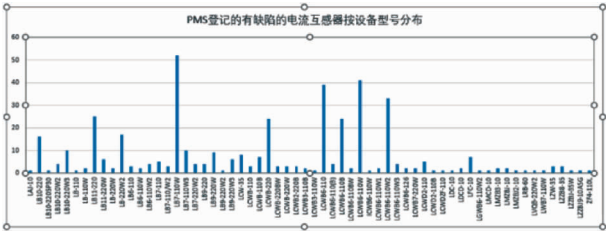


图 6 有缺陷的电流互感器按设备型号分布

Fig. 6 Distribution of defective current transformers
according to equipment model

通过对 PMS 台账数据进行统计,发生缺陷次数较多的电流互感器型号是 LB7-110W、LB11-220、LCWB-220、LCWB6-110、LCWB6-110W。

1.4 按投运时间分类的电流互感器设备数量及缺陷发生次数情况

统计 PMS 系统上登记的所有电流互感器投运时间,PMS 系统上登记的所有发生过缺陷的投运时间数据,对这些数据用 VBA 编程进行计数,武汉公

司按投运时间分布的电流互感器数目如图 7 所示。

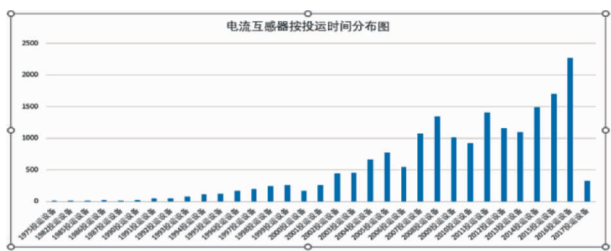


图 7 电流互感器按投运时间分布情况
Fig. 7 Distribution of current transformers according to operation time

通过对 PMS 台账数据进行统计,我公司运行的电流互感器投运时间集中在 2005 ~ 2016 年,大部分设备运行时间不满 10 年。

武汉公司按投运时间分布的发生缺陷的电流互感器数目如图 8 所示。

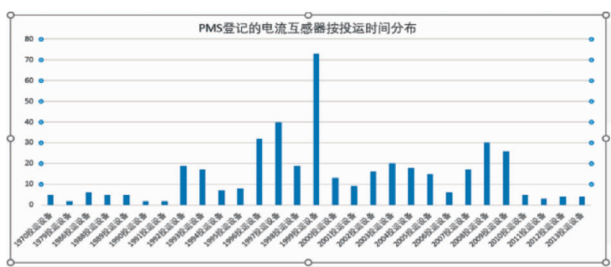


图 8 发生缺陷的电流互感器按投运时间分布情况
Fig. 8 Distribution of defective current transformers according to operation time

通过对 PMS 台账数据进行统计,发生缺陷次数较多的电流互感器型号投运时间都有 15 年以上,这些设备发生缺陷频率较高。

2 考虑多个因素挖掘的电流互感器分布规律

上述的数据挖掘直观、明了,图表清晰的展示了电流互感器按电压等级、生产厂家、设备型号、投运时间分布情况,而电压等级、生产厂家、设备型号、投运时间与设备运行状况之间的关系没有展示出来,他们之间的关系考虑采用 BP 神经网络建模进行挖掘。

人工神经网络是由一个多层神经元结构组成的并行分布信息处理网络,每一层由许多个神经元组成,每个神经元拥有输入输出,输入有多个连接通道,连接通道对应于一个连接权系数,每个神经元只有一个输出,可以连接到很多其他的神经元。人工神经网络的信息处理就是由神经元之间的相互作用来实现。人工神经网络对事物有很强的自学习、自

适应和自组织能力^[6-12],建立人工神经网络模型主要步骤如图 9 所示。



图 9 神经网络建模步骤
Fig. 9 Neural network modeling steps

2.1 BP 神经网络搭建

考虑到设备型号(可代表不同型号互感器的性能差异)、生产厂家(可代表不同生产厂家的工艺水平)、运行时间(可代表不同运行时间互感器的剩余寿命)相对独立,故定义输入层变量: $X = \{ \text{设备型号、生产厂家、运行时间} \}$;

对设备型号 x_1 进行分类,如定义“1 = ZF12 - 126(L)”,“2 = LMCD - 10”,依次类推;

对生产厂家 x_2 进行分类,如定义“1 = 河南平高电气股份有限公司”,“2 = 沈变沈阳互感器厂”,依次类推;

运行时间 x_3 即为投入使用时间。

定义输出层变量: $Y = \text{故障发生概率 } P$ 。

BP 神经网络搭建如图 10 所示。

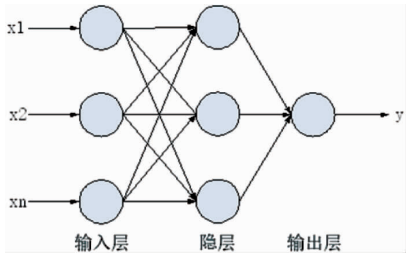


图 10 BP 神经网络建模步骤
Fig. 10 BP neural network modeling steps

2.2 基于如下假设的数据处理

(1)定义电流互感器的使用寿命是 30 年,对于管辖的设备,如果投运年限达到 30 年,则设备发生故障的概率为 100% 即设备需要报废,进行更换;

(2)对于运行年限不到 30 年的设备,并且 PMS 系统未登记其发生缺陷的设备,其故障发生的概率定义为:

$$P = \frac{\text{设备已经投运的天数}}{\text{设备定义的使用寿命}}$$

对于 PMS 系统登记有缺陷的设备其故障发生的概率:

$$p = \min(\frac{\text{设备已经投运的天数}}{\text{设备定义的使用寿命}} \times 90\% + 1 \times 10\%、1)$$

(3)BP 神经网络需要大量的样本数据进行训练,对于维护的设备数量较少的电流互感器不考虑,选取的设备数量大于等于 20 台;

(4)对于故障发生概率 p 的定义主要考虑密封件的老化产生的渗漏油缺陷,数据样本选取 PMS 设备台账绝缘介质为油的所有电流互感器。

2.3 BP 神经网络样本数据形成过程

(1)在 PMS 电流互感器设备台账中筛选出油浸式电流互感器;

(2)对筛选出来的电流互感器按其设备型号进行编码,相同的设备型号编码相同,同时对样本数据大于 20 个,赋予其编码;

(3)对筛选出来的电流互感器按其生产厂家进行编码,相同的生产厂家编码相同,同时对样本数据大于 20 个,赋予其编码;

(4)根据设备投运时间,计算设备运行时间,设备发生故障的概率;

(5)根据 PMS 系统登记的缺陷,对筛选出来的电流互感器进行缺陷关联,并且对设备发生故障按照权值进行修正;

(6)对形成的输入、输出数据对进行去重复处理,提高程序运行效率。

样本数据的四维图如 11 所示。

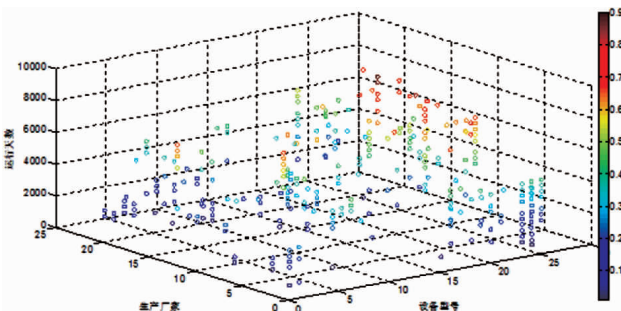


图 11 样本数据的四维图

Fig. 11 Four-dimensional map of sample data

颜色代表故障概率,越接近红色,概率越高,处于报警状态。

2.4 BP 神经网络训练过程及结果

采用 BP 三层前馈型神经网络,包括一个输入层,一个隐层,一个输出层,输入层 3 个节点,隐层选用 8 个节点,输出层 1 个节点。从所有的样本中随机选取 21 组样本作为预测样本,剩余作为训练样本。相对误差不超过 5%。模型的误差如图 12 所示。

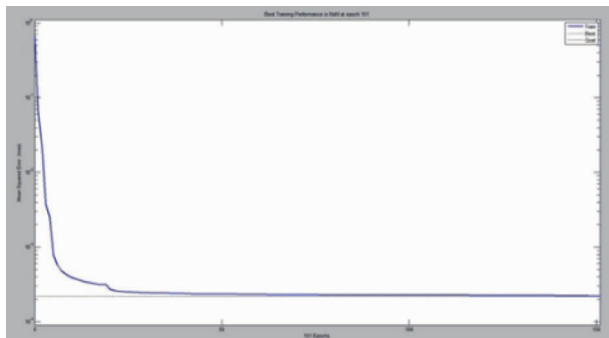


图 12 BP 神经网络的算法误差曲线

Fig. 12 Algorithm error curve of BP neural network

BP 神经网络预测值与实际值的情况如图 13 所示。

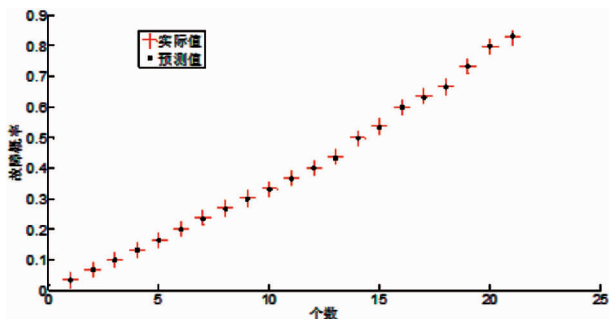


图 13 BP 神经网络的算法预测值与实际值

Fig. 13 BP neural network algorithm prediction and actual value

BP 神经网络预测值与实际值的误差分布情况如图 14 所示。

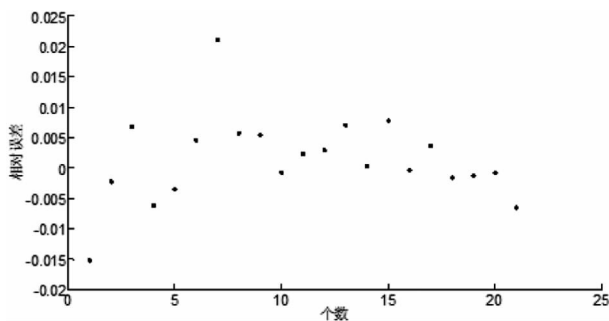


图 14 BP 神经网络的算法预测值与实际值误差分布

Fig. 14 Error distribution of predicted and actual values of BP neural network algorithm

2.5 BP 神经网络模型的运用

(1)在神经网络训练样本总数据中统计可以进行预测的生产厂家,制作选择菜单,编写程序代码;

(2)在神经网络训练样本总数据中统计可以进行预测的设备型号,制作选择菜单,编写程序代码;

(3)在神经网络训练样本总数据中统计可以进行预测的时间跨度,制作选择菜单,编写程序代码;
(4)用户可以选择相应的生产厂家、设备型号、输入设备投运时间,点击开始计算,得到计算结果。
BP 神经网络的 GUI 界面如图 15 所示。

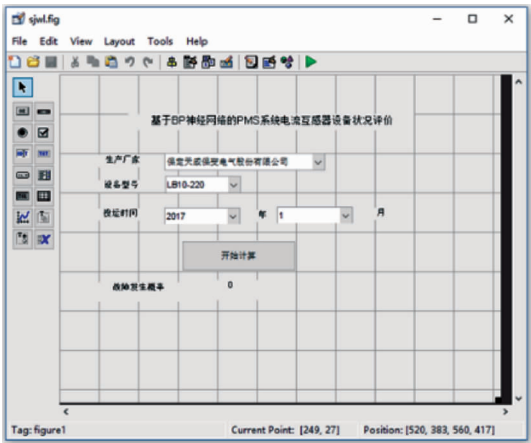


图 15 BP 神经网络 GUI 界面的搭建

Fig. 15 Construction of BP neural network GUI interface

(5)BP 神经网络 GUI 运行界面及预测过程如图 16 所示。



图 16 BP 神经网络 GUI 界面计算过程

Fig. 16 BP neural network GUI interface calculation process

3 价值与成效

BP 神经网络模型预测精度满足实际需要,结合变电站地理位置信息,对运行风险高的变电站提前进行预警^[13-20],运用地图无忧软件进行开发可以达到的效果如图 17。

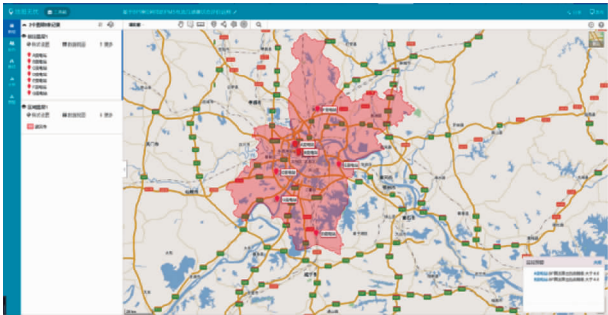


图 17 变电站地理位置展示图

Fig. 17 Substation geographical location map

电脑端效果如图 18 ~ 19 所示。

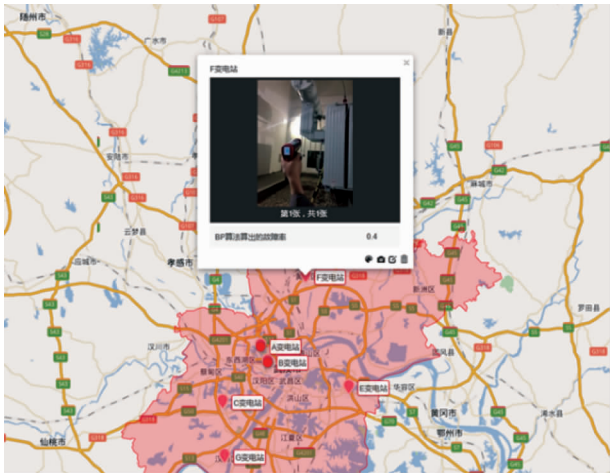


图 18 电脑端变电站运行风险展示图

Fig. 18 Computer-side substation operation risk display

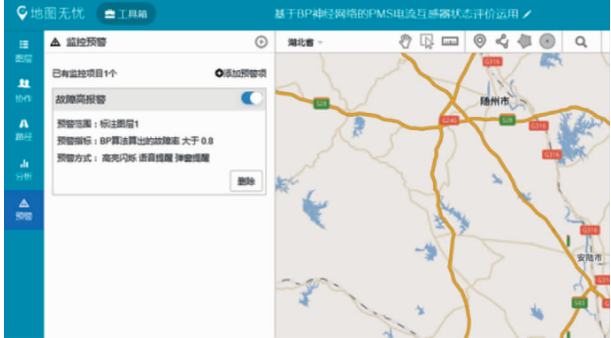


图 19 电脑端设置变电站报警信息

Fig. 19 Setting the substation alarm information on the computer side

手机端同时能够使用效果如图 20 所示。

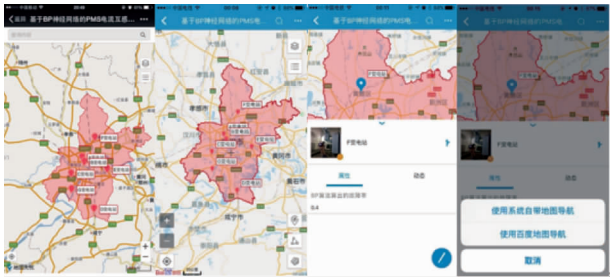


图 20 手机端变电站运行风险展示图

Fig. 20 Mobile phone terminal substation operation risk display

该系统研发成功后可以实现如下功能:

- (1)根据评价规则,及时对管辖变电站进行动态评估,对于运行风险较高的变电站提前进行预警,规划抢修路线,及时安排人员处理。实现了故障预警推送,及时将高概率故障停电预警信息对相关人员进行预警告知,提醒检修人员做好相应措施,减少停电风险;
- (2)系统具备导航功能,能方便人员第一时间

赶赴现场抢修;

(3)系统支持扩展,有权限的相关人员能够及时上传图片给使用系统的人员,方便大家共享设备各种信息;

(4)基于BP神经网络大数据计算的结果,构建变电站抢修热点定位预测模型并通过可视化方式进行展现,降低设备运行风险。

3 结束语

PMS作为我们的生产台账信息系统数据丰富,对其中一种设备类型的数据进行挖掘,发现蕴含的规律,改变传统的缺陷发生后才进行处理的被动局面,通过科学的方法对设备状况进行评估,可以在缺陷隐患暴漏前提前进行处理,更加科学的了解设备运行工况,提高检修效率,预测模型搭建成功后,可以实现输入相关运行工况数据,系统给出这台设备故障发生的概率,为科学制定检修策略提供一定的帮助,同时借助地图无忧进行显示效果可视化开发,方便管理人员清楚变电站运行情况,及对相关运行信息进行提前预警。

参考文献:

- [1] M. T. HAGAN, M. B. MENHAJ. Training feedforward networks with the marquardt algorithm [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1994, 5(06): 989-993.
- [2] WANG Youyuan, ZHOU Jingjing, CHEN Weigen. Assessment method for the reliability of power transformer based on fault-tree analysis [J]. High Voltage Engineering, 2009, (03): 514-520.
- [3] Y. LI, S. BILLINGTON, C. ZHANG, et al. Adaptive prognostics for rolling element bearing condition [J]. Mechanical Systems and Signal Processing. 1999, 13(01): 103-113.
- [4] JIHONG YAN, CHAOZHONG GUO, XING WANG. A dynamic multi-scale markov model based methodology for remaining life prediction [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2010, 25(04): 1364-1376.
- [5] G. J. KACPRZYNSKI, A. SARLASHKAR, M. J. ROEMER, et al. Predicting remaining life by fusing the physics of failure modeling with diagnostics [J]. JOM: the Journal of the Minerals, metals & Materials Society, 2004, 56(03): 29-35.
- [6] 张彼德, 裴子春, 袁宇春. 基于遗传算法优化的BP神经网络的变压器油中气体预测 [J]. 西华大学学报(自然科学版), 2010, 29(02): 145-147.
ZHANG Bide, PEI Zichun, YUAN Yuchun, The prediction of gas-in-oil in a transformer based on BP neural network optimized by genetic algorithm [J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2010, 29(02): 145-147.
- [7] 李瑞莹, 康锐. 基于神经网络的故障率预测方法 [J]. 航空学报, 2008, 29(02): 357-363.
LI Ruiying, KANG Rui. Failure rate forecasting method based on neural networks [J]. Acta Aeronautica ET Astronautica Sinica, 2008, 29(02): 357-363.
- [8] 刘雪茹, 张翔, 张守磊. RBF神经网络在电力系统短期负荷预测中的应用 [J]. 贵州电力技术, 2013, 16(07): 13-17.
LIU Xueru, ZHANG Xu, ZHANG Shoulei. Application of radial basis function neural network model in short-term load forecasting [J]. Guizhou Electric Power Technology, 2013, 16(07): 13-17.
- [9] 李中亚, 徐朝, 袁旭峰. 基于BP神经网络和遗传算法的年负荷预测与分析 [J]. 贵州电力技术, 2014, 17(02): 19-21.
LI Zhongya, XU Chao, YUAN Xufeng. Year load prediction and analysis based on BP neural network and genetic algorithm [J]. Guizhou Electric Power Technology, 2014, 17(02): 19-21.
- [10] 黄军凯, 刘华麟, 杨涛. 基于三维GIS技术的输变电设备多维可视化监测系统的设计研究 [J]. 贵州电力技术, 2014, 17(03): 5-7.
HUANG Junkai, LIU Hualin, YANG Tao. Design research on multi-dimensional visible monitoring system for electric transmission and transformation equipments based on three-dimensional GIS technology [J]. Guizhou Electric Power Technology, 2014, 17(03): 5-7.
- [11] 苏春, 王丰, 段润保. 基于神经网络预测器的传感器故障诊断 [J]. 仪器仪表用户. 2006, 13(05): 160-161.
Su Chun, Wang Feng, Duan Ruibao. Sensor fault diagnosis based on neural network predictor [J]. Electronic Instrumentation Customer. 2006, 13(05): 160-161.
- [12] 何勇枢, 陈赣. 基于BP神经网络模型的故障预测分析 [J]. 微计算机信息. 2006, (16): 220-222, 6.
HE Yongshu, CHEN Gan. Fault forecast analysis based on BP neural network model [J]. Control and Automation, 2006, (16): 220-222, 6.
- [13] 梁文焰, 黄蔚. 建设变电设备状态检修信息系统的建议 [J]. 广西电力. 2007, (03): 61-65.
LIANG wenyan, HUANG wei. Suggestion on construction of information system of transforming Equipment State Maintenance [J]. Guangxi Electric Power, 2007, (03): 61-65.
- [14] 张晓亮, 闫龙川, 崔硕, 等. 信息系统状态检修研究与应用 [J]. 电力信息与通信技术, 2015, 13(01): 53-58.
ZHANG Xiaoliang, YAN Longchuan, CUI Shuo, et al. Research and application of condition-based maintenance in Information system [J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2015, 13(01): 61-65.
- [15] 陈杰. MATLAB 宝典 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [16] 史峰, 王小川. MATLAB神经网络30个案例分析 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- [17] 王正林. 精通 MATLAB GUI 设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [18] 周开利, 康耀红. 神经网络模型及其 MATLAB 仿真程序设计

[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[19] 马锐. 人工神经网络原理[M]. 北京:机械工业出版社, 2014.

[20] 丛爽. 面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 北 京:中国科学技术大学出版社,2003.

作者简介:



苏晓龙(1988),男,硕士,工程师。主要从事变压器检 修相关工作。

(本文责任编辑:王 燕)

收稿日期:2018-11-02

**PMS current transformer equipment status evaluation system
based on BP neural network**

SU Xiaolong, XIA Peng, XIAO Bo, WANG Long, HU Jin

(State Grid Wuhan Power Supply Company, Wuhan 430052 Hubei, China)

Abstract: As an important equipment in substations, current transformer operating conditions directly affect the safe operation of substations. There are a large number of current transformers, and they often meet various defects of current transformers during operation, such as heat generation and oil leakage, low oil level and so on. Through the huge data of the current transformer on the PMS, the one-factor graph method is used to analyze the relationship between the current transformer fault and its equipment model, equipment manufacturer, equipment operation time, and multi-factors are considered to establish the BP neural network model. Considering the factors of equipment model, equipment manufacturer and equipment operation time, the probability prediction of its operating conditions is carried out. At the same time, all the current transformers that meet the requirements of the model in each substation are predicted, and the current transformer failure is easy to occur. Substations are alerted. The software called Dituwuyou is used to visually display the results of the BP model calculation, which is convenient for the operation and maintenance personnel to grasp the operating conditions of the current transformer, strengthen the live detection of the current transformers that are prone to failure, arrange maintenance in advance, and ensure the reliability of power supply.

Key words: PMS system; BP neural network; fault prediction; visualization