

# 变电设备状态检修中试验数据的处理方法探讨

徐敏<sup>1</sup>, 刘井萍<sup>2</sup>, 左重华<sup>2</sup>, 彭瑜<sup>1</sup>, 杜伟<sup>2</sup>, 朱丽<sup>2</sup>

(1. 南昌大学信息工程学院, 江西 南昌 330031; 2. 吉安供电公司, 江西 吉安 343000)

**摘要:** 变电设备的状态检修是根据预防性试验、不良运行工况记录、缺陷记录、检修记录等纵向和横向的能够反映电力设备运行状态的各类数据对其状态进行综合判断, 以变压器为例, 对输入数据采用了统计的方法进行分析计算, 解决了大量的数据统计分析判断的复杂问题, 将该方法应用于状态检修的辅助决策系统中, 可以实现计算机智能诊断的状态分析功能, 科学地判断设备当前的运行状态, 以便合理安排检修计划和检修重点。

**关键词:** 状态检修; 显著性差异分析法; 纵横比分析法; 辅助决策系统

## Researches on test data processing method in electric equipments maintenance

XU Min<sup>1</sup>, LIU Jing-ping<sup>2</sup>, ZUO Zhong-hua<sup>2</sup>, PENG Yu<sup>1</sup>, DU Wei<sup>2</sup>, ZHU Li<sup>2</sup>

(1. Information Engineering School, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

2. Ji'an Power Supply Company, Ji'an 343000, China)

**Abstract:** Transformer state maintenance is according to the preventive test, the adverse operating conditions maintenance records, defect records, longitudinal and transverse record of electric power equipment running status to reflect on the status of all kinds of data on comprehensive judgement. Taking the transformers as an example, the paper adopts the input data to analyze and calculate in a statistical way. A lot of complex problems of data statistic analysis are solved. The way can be applied to the maintenance of auxiliary decision-making system. The function of computer intelligence diagnosis can be realized. The equipment running status can be judged scientifically to arrange maintenance plans and maintenance points.

**Key words:** state maintenance; significance discriminate analysis; aspect ratio analytical method; auxiliary decision-making system

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)22-0091-03

## 0 引言

目前国内有关变电设备状态检修的研究和应用工作已全面展开, 然而, 在实际运行电网中, 变电设备状态检修大部分仍处在初级的状态检修向系统的状态检修的过渡阶段。全面实施变电设备状态检修是一个庞大的系统工程, 既是设备管理模式的变革, 也是监测技术、诊断技术及检修技术有机的统一, 需要科学管理技术的支持。变电设备状态检修无论在国内还是在国外都处在起步探索阶段, 其关键问题还是在于设备状态评估方面, 基于状态监测和故障诊断基础上的设备健康状态评估是解决这一问题现实可行的途径。随着状态监测技术的全面发展, 状态评估问题的顺利解决, 状态检修将替代传统的计划检修体制并为电力企业带来巨大的经济效益<sup>[1,2]</sup>。本文以变压器为例探讨在进行变电设备状态

检修时有关试验数据的处理方法。

通过输入数据能够真实分辨出被评估设备状态的变化, 其实, 电力设备的各项“限值”原本是由多年来大量的试验及运行数据经分析、总结而得出的一个概率分布值。由于电力系统在设计、运行方式的变化及系统容量的增大, 电力设备设计及制造工艺水平的提高, 原有部分“限值”将失去实际意义。在1999年国际大电网会议中提出了“趋势比限值更重要”的观点, 将这一观点作为状态检修策略研究的一个基点更加有实际意义<sup>[3]</sup>。

## 1 基本原理

变电设备状态检修的辅助决策系统是一个根据生产、运行、检修、试验等各类数据对变电设备状态进行综合判断的跨部门的应用软件系统, 根据预防性试验、不良运行工况记录、缺陷记录、检修记

录等纵向和横向的能够反映电力设备运行状态的状态信息,采用模糊推理的方法综合各种有用的状态参量对电力设备的健康状态做出评价,进而对电力设备整体性能进行评估,为变电设备状态检修决策提供重要的依据<sup>[4]</sup>。

基于状态检修的思想,设备的例行试验周期可以延长或缩短<sup>[5,6]</sup>。两次试验结果相比有无明显差异,是周期调整的重要依据之一。如何评价试验数据有无明显差异,状态检修规程中并无明确规定,实践中需要凭经验予以确定,本文采用统计的方法对变电设备进行状态评估,并以此作为状态检修辅助决策的依据。

注意值或警示值是一个静态的阈值,是基于大量运行经验的统计结果,但是另一种情况,设备状态量可能并没有达到注意值或者警示值,也就是全部属于“合格”设备,但在实践中存在这样的情况,个别设备的状态量明显不同于其他设备,根据数理统计理论,在相近的运行和检测条件下,相同设计、材质和工艺的一批设备,各台设备的同一状态量应该视为源自同一母体的不同样本,其状态量不应有显著差异,若某台设备某个状态量与其它设备有显著性差异,即使满足注意值或警示值要求,也应引起注意。对于没有注意值或警示值要求的状态量,可以应用显著性差异分析,如果被分析设备的状态量值与其他设备存在显著性差异,必然存在原因,且很可能是早期缺陷的信号,因此,对于产生这种缺陷信号,工作人员应该引起注意,监视设备发展的趋势<sup>[7,8]</sup>。

### 1.1 显著性差异分析

在相近的运行和检测条件下,相同设计、材质和工艺的一批设备,其状态量不应有显著差异,若某台设备某个状态量与其它设备有显著性差异,即使满足注意值或警示值要求,也应引起注意。对于没有注意值或警示值要求的状态量,可以应用显著性差异分析,作为部分状态量要求“没有明显变化”或类似要求的判断依据。

设 $n$  ( $n \geq 5$ ) 台同一家族设备(如同制造商同批次设备),某个状态量 $X$ 的当前试验值的平均值为 $\bar{X}$ ,样本偏差为 $S$ (不含被诊断设备);被诊断设备的当前试验值为 $x$ ,则有显著性差异的条件为:

劣化表现为状态量值减少时(例绝缘电阻):

$$x < \bar{X} - kS \quad (1)$$

劣化表现为状态量值增加时(例介损值):

$$x > \bar{X} + kS \quad (2)$$

劣化表现为偏离初值时(例电容量):

$$x \notin (\bar{X} - kS, \bar{X} + kS) \quad (3)$$

上列各式中 $k$ 值根据设备台数 $n$ 的大小选取,其间的关系见表1。

表1  $k$ 值与 $n$ 的关系

Fig.1 Relations between  $k$  and  $n$

$n$	5	6	7	8	9	10	11
$k$	2.57	2.45	2.36	2.31	2.26	2.23	2.20
$n$	13	15	20	25	35	$\geq 45$	
$k$	2.16	2.13	2.09	2.06	2.03	2.01	

### 1.2 纵横比分析法

该方法的适用条件是,A、B、C一组设备,例如有:断路器,隔离开关等等。且包括当前试验值在内至少两次试验值,分别记为 $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$ (上次试验值)和 $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$ (本次试验值),假设分析A相设备的当前试验值是否正常,可按式(4)计算 $F$ 值。如果超过30%,可判定为异常。

$$F = \left| 1 - \frac{a_2(b_1 + c_1)}{a_1(b_2 + c_2)} \right| \times 100\% \quad (4)$$

如果要对B相设备进行判断,可用同样的方法求取 $F$ 的值,可按照式(5)的方法计算 $F$ 。

$$F = \left| 1 - \frac{b_2(a_1 + c_1)}{b_1(a_2 + c_2)} \right| \times 100\% \quad (5)$$

### 1.3 单个试验项目评分法

本方法适用于有注意值或警示值要求的正劣化及负劣化状态量的分析。计算式中, $G$ 为设备状态评分,设注意值为 $x_z$ ,若状态量给出警示值,则 $X' = X_j$ ;若状态量给出注意值,则 $X' = 1.3X_z$ (正劣化)或 $X' = X_z / 1.3$ (负劣化),式中 $X_f$ 为该状态量在同类新设备中的平均值,若没有此值,以该设备出厂或交接试验值代之。仅有一次试验记录时:

$$G = G_1(X) = \frac{X' - X}{X' - X_f} \times 100\% \quad (6)$$

式中,当 $G < 0$ ,令 $G = 0$ ;当 $G > 100$ ,令 $G = 100$ 。

二次试验值分别为 $x, x_1$ ,其中 $x$ 为当前试验值, $x_1$ 为 $t_1$ 年前(相对于 $x$ )的试验值:

$$\text{正劣化: } G = G_1(x + \max(0, x - x_1)) \quad (7)$$

$$\text{负劣化: } G = G_1(x + \min(0, x - x_1)) \quad (8)$$

### 1.4 程序框图

本文采用统计方法对变电设备状态检修中输

入数据的处理可以通过编程实现, 程序框图如图1所示。

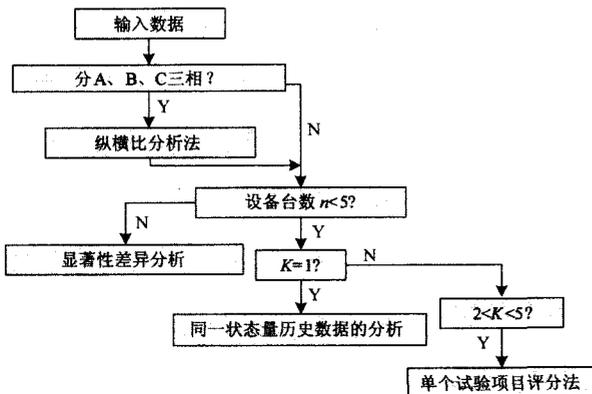


图1 输入数据处理的程序框图

Fig.1 Input data processing program diagram

## 2 运行结果

### 2.1 单个试验项目评分法

试验数据与交接试验数据比较, 参数如下:

以变压器绝缘电阻为例, 采用某次高对低对地交接试验值为46 105 MΩ, 注意值为10 000 MΩ, 前次试验数据为33 000 MΩ, 当次试验值为25 000 MΩ可以采用式(7)、(8)计算得到  $G = 24.23\%$ , 说明该参数有明显变化。状态评价结果如图2所示, 见评估结果: “2. 高对低对地绝缘电阻与上次试验数据相比有明显的变化, 需要注意”。

仍以变压器绝缘电阻为例, 当采用其5次历史数据对变压器的状态进行评估时, 可以使用公式(1), 式中,  $n=5$ 时,  $k=2.57$ 。5次历史试验数据如下: 17 422 MΩ, 19 200 MΩ, 12 720 MΩ, 17 333 MΩ, 11 560 MΩ。

计算结果如下:

$$x = 7560 < \bar{x} - ks = 15647 - 2.57 \times 2233 = 9908.19$$

运行结果见图2, 显示为“2. 高对中、低绝缘电阻试验数据有明显的变化, 需要注意”。

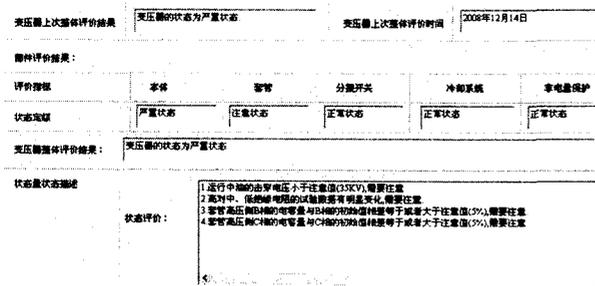


图2 变压器状态评估界面一

Fig. 2 One of the interfaces of transformer state assessment

### 2.2 纵横比分析法

以介质损耗因数为例, 上次试验数据  $a1=0.28\%$ ,  $b1=0.37\%$ ,  $c1=0.36\%$ ;  $a2=0.4\%$ ,  $b2=0.277\%$ ,  $c2=0.289\%$ , 通过代入式(4)、(5)计算, 可以判断A相的实验数据有明显变化。计算可得  $F=84\%$ , 大于30%, 可判定为有明显变化, 如图3中的结果“5. A相介质损耗因数为异常状态, 应该引起注意。”

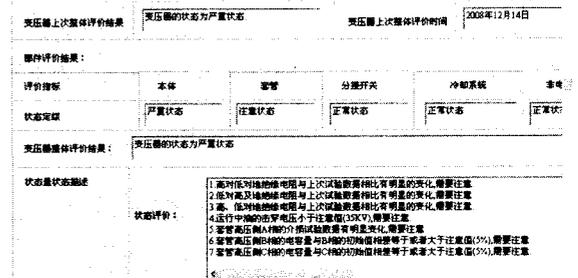


图3 变压器状态评估界面二

Fig.3 Other interface of the transformer state assessment

## 3 结论

本文采用统计方法将各类试验数据进行横向和纵向比较, 使变压器状态的评估更具科学性, 改变了以往依据经验对设备状态进行评估的现状, 使状态检修建议更趋于合理。

纵横比分析法主要用于判断三相是否平衡; 单个试验项目评分法主要用于历史数据仅有两次的设备; 显著性差异分析法不适合用于易受环境影响的状态量, 对于家族设备台数  $n < 5$  时, 也不适合, 因此本方法对于变压器来说, 不适合用于多个变压器, 但是, 这种方法可以用来对同一设备的同一状态量的历年试验结果的分析, 在变压器状态评估中, 该方法用在绝缘电阻与介损值与历年五次历史数据的评估, 取得了较准确的评估结果。

### 参考文献

- [1] 赵文清, 朱永利. 电力变压器状态评估综述[J]. 变压器, 2007, 44 (11): 9-12.  
ZHAO Wen-qing, ZHU Yong-li. Summary of Condition Assessment for Power Transformer[J]. Transformer, 2007, 44(11): 9-12.
- [2] Wang M, Vandermaer A J, Srivastava K D. Review of Condition Assessment of Power Transformers in Service[J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2002, 18(6):12-25.
- [3] 杨艳春, 赵波. 开展电气设备状态检修的若干问题探讨[J]. 内蒙古电力技术, 2005, (5):11-13.

(下转第 98 页 continued on page 98)

累, 将各种模式下的出力分析完善; 其次, 可将蓄能电站的抽发安排纳入到负荷预测相关元素当中, 应用负荷预测中气象相关性的现有资源, 对蓄能电站的出力安排提供依据。

参考文献

[1] 李世东. 抽水蓄能电站节煤效益计算[J]. 水电能源科学, 1990, (3): 264-272.  
LI Shi-dong. Benefits Calculation of Pumped-storage Station[J]. Water Resources and Power, 1990, (3): 264-272.

[2] 陈育文. 抽水蓄能电站调峰填谷节煤效益研究[J]. 水能技术经济, 1992, (2): 41-43.  
CHEN Yu-wen. Study on Peak Load Leveling Benefits of Pumped-storage Power Station[J]. Water Technology and Economic, 1992, (2): 41-43.

[3] 江伟民. 抽水蓄能电站经济效益计算方法研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.  
JIANG Wei-min. Study on Calculating of Economic Benefit of Pumped-storage Power Station[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2007.

[4] 宁波电业局溪口蓄能电站科技项目小组. 宁波电网抽

水蓄能电站的经济运行与控制研究课题[Z]. 科技项目, 2008.

Ningbo Electric Power Bureau Xikou Pumped-storage Station Technology Program Team Report[Z]. Technology Program, 2008.

[5] 王锡凡, 王秀丽. 随机生产模拟及其应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (8): 10-15.  
WANG Xi-fan, WANG Xiu-li. Stochastic Production Simulation and Application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (8): 10-15.

收稿日期: 2008-11-17; 修回日期: 2008-12-28

作者简介:

黄 蕾 (1981-), 男, 电力系统工程师, 硕士, 主要从事电力系统调度运行和电力市场方面的研究; E-mail: alarry8@163.com

李丰伟 (1975-), 男, 电力系统工程师, 主要从事电力系统经济调度及运行方式方面的研究;

秦俊宁 (1972-), 男, 电力系统工程师, 主要从事电力系统经济运行控制和调度自动化方面的研究。

(上接第 93 页 continued from page 93)

YANG Yan-chun, ZHAO Bo. Some Issues Discussion on State Maintenance for Electric Equipments[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2005,(5):11-13.

[4] 李光范, 刘有为, 高克利, 等. 制定《电气设备状态维修导则》的原则框架[J]. 电网技术, 2003,27(6): 64-67, 76.

LI Guang-fan, LIU You-wei, GAO Ke-li, et al. Formulating the Principle Framework about <Guideline of the Electrical Equipment Maintenance>[J]. Power System Technology, 2003, 27(6): 64-67, 76.

[5] 漆炜之. 电气设备状态检修的实践[J]. 江苏电机工程, 2006,(1):14-17.

QI Wei-zhi. The Practice of Electrical Equipment Maintenance Based on State[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2006,(1):14-17.

[6] 陈三运, 谭洪恩, 江志刚. 输变电设备的状态检修[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

CHEN San-yun, TAN Hong-en, JIANG Zhi-gang. The State Maintenance of Power Transmission and

Transformation Equipment[J]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

[7] 邱仕义. 电力设备可靠性维修[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

QIU Shi-yi. Electric Power Equipment Maintenance of Reliability[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

[8] 刘铁, 等. 高压电气设备绝缘状态管理与评估系统[J]. 电力系统自动化, 2007,31(12):100-104.

LIU Tie, et el, An Information Management and Evaluating System for High Voltage Electric Equipment Test Data[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007,31(12):100-104.

收稿日期: 2008-11-19; 修回日期: 2009-03-18

作者简介:

徐 敏 (1963-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统运行和控制、故障诊断等; E-mail: xumin-8660@163.com

刘井萍 (1963-), 女, 学士, 高级工程师, 从事电力系统运行和管理工作;

左重华 (1950-), 高级技师, 从事电气试验工作。