

输变电设备状态检修评估分析系统的研究

宋人杰, 王晓东

(东北电力大学信息工程学院, 吉林 吉林 132012)

摘要: 输变电设备状态检修评估分析系统依据最新的高压电气设备状态维修试验规程, 采用评分的方法对输变电设备进行状态评估, 还可与在线监测系统集成, 直接将在线监测系统采集的数据作为设备的试验项目数据参与评估。系统基于微软的 .net 多层分布式对象技术, C#作为编程语言, 采用 SQL Server 网络数据库。采用基于 Web 的 B/S 程序体系结构, 实现了异构平台间对象的相互通信, 极大地提高系统的可扩展性。

关键词: 状态检修; 输变电设备; B/S 三层结构; 在线监测

Research on assessment and analysis system of condition-based maintenance for power transmission and transformation equipment

SONG Ren-jie, WANG Xiao-dong

(School of Information Engineering Northeast China University of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China)

Abstract: Assessment and analysis system of condition-based maintenance for power transmission and transformation equipment is based on the latest condition maintenance regulations for HV electrical equipment, which can also be integrated with online monitoring system. The data which is collected by online monitoring system uses as a test project data in the evaluation equipment directly. The system uses the grading method to evaluate the condition of power transmission and transformation equipment, which is based on .Net multi distributed object technique of Microsoft, uses C# as programming language, and uses SQL server as net database. It uses B/S architecture to realize the communication of heterogeneous platform objects and improve the expandability.

Key words: condition maintenance; power transmission and transformation equipment; B/S three-tier structure; online monitoring

中图分类号: TM743 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)09-0054-04

0 引言

我国的电气设备维护体制包括两个方面, 一是定期预试, 一是定期检修和临修。其中预试占整个维护工作量的 50%以上, 在因设备维护临时退出运行的时间中, 预试也占主要部分。近年来, 一方面电力系统在迅速扩展, 另一方面预试项目有增无减, 设备维护人员已感到穷于应付, 预试的执行和分析质量受到了制约, 国内已有多起预试数据已有问题而忽略分析, 致使投运后出现重大事故的典例^[1]。

预试过程中发生误碰、误操作等也屡见不鲜。目前预试的缺陷检出率很低, 若加强设备状态分析, 依据设备状态和维修策略对设备的预试周期和检修周期进行相应的调整, 突出重点, 提高质量, 这将会大大提高设备的安全运行指标。如果我们把维修

的周期及项目上升为一种管理策略, 就必须将各类设备一并考虑, 提高安全及效益。即实行状态维修, 状态预试+状态检修。

一个供电企业有成百上千台电气设备, 主要设备均按周期进行预防性试验和检修, 而一台设备一次预试所得的数据也是成百上千, 若干年累积之后, 一台设备就有数千或数万个预试数据。在对设备状态分析时, 每一类数据又有相应的判断或分析标准。同一类数据一般还要进行横向比较(检验个体之间是否存在显著性差异)、纵向比较(检验状态信息的劣化趋势)。如果一并考虑缺陷、不良工况等, 靠手工是难以胜任的。

综上所述为了实质性推动状态维修工作, 在借鉴国外相关经验的基础上, 按新的行业标准设计, 研究开发一套适用于各级供电公司的输变电设备状

态检修管理系统,以达到可在不牺牲设备可靠性的前提下,缩短试验维修时间、提高设备可用率、降低维修试验成本的目的。

1 理论依据

本项目依据 2006 年国家电网公司和中国电力科学研究院出台的高压电气设备状态维修试验规程,规程参考了美国标准《Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance》2002 年版;参考了 CIGRE 状态维修标准草案、国内高压电气设备历年试验数据调研总结、ABB、西门子等电力设备制造商推荐的维修试验策略、在美国的相关调研记录和国内近百名专家座谈交流心得等。集中反映了国内外在该领域较为成熟和先进的维修试验策略。与 1996 年版的《电力设备预防性试验规程》相比,有以下几个方面的创新和改进^[2]:

(1)改进了标准中一些不妥。诸如变压器吸收比、极化指数的注意值问题;悬式绝缘子击穿识别问题、套管介损温度修正问题、避雷器阻性电流注意值问题等等。

(2)增加了近年来研发的新型设备,如干式有机套管、GIS 出线套管、SF6 绝缘电流互感器等、复合绝缘子等等。

(3)增加了近年来被证明行之有效的、新的试验项目,如变压器绕组频响分析以及红外、紫外等新的技术手段。

(4)增加了防污闪的内容。

(5)将原有注意值分成警示值和注意值两种,即增加了警示值的概念。注意值只是表明设备的状态应该引起重视,不一定预示着存在严重缺陷,如绝缘电阻的减小;警示值则明确设备进入严重危及状态,如套管电容量增加了 5%。区分注意值和警示值有助于设备运行和维护人员提高设备的安全运行水平。

(6)引进了状态维修的概念,并依次建立了可操作的标准条款;

①将试验项目分成例行试验、诊断试验和检修试验;例行试验大大减少。

②引进一些新的、但被广大专家广泛接受的新概念,如家族缺陷、轮式、不良工况等,有助。

③对于评估和把握设备状态,实行状态维修。确立了即很好地反应状态维修思想、又可操作的“1/N+X-Y”原则。

④在附录中提供了一种量化评价系统(与 CIGRE 标准类似),作为标准执行选项之一,提高了标准执行的唯一性和可操作性。

⑤对应用越来越广泛的在线监测技术与例行维

修和试验之间的关系做出了比较明确的界定,符合国外实践操作经验。

(7)提升了标准的可操作性。本次修订尽可能避免模糊的、似是而非的论述,比如要求没有明显变化、1~3 年等,力求具体、确定、尽量避免因标准条款模糊,使不同的执行者得出不同结论的情况。

2 评估方法的创新

传统的对设备的评估只有合格和不合格两种,设备状态评分不同于设备缺陷的诊断,不是试图得到设备确切的缺陷信息,而是依据设备状态信息对设备状态作出的分级性评估。因此采用状态维修思想后这种方法已不能满足要求,本系统依据最新的高压电气设备状态维修试验规程,设计了百分制量化的评分方法,并且依据设备状态评分对维修策略进行调整,这种调整分五种:立即维修或更换、限期维修或更换、缩短周期、正常周期、延长周期。立即维修或更换是指设备状态极其危急,随时有发生事故的风险,表现为状态评分很低,在此情况下,相应单位是小时。限期维修或更换是指设备状态比较危急,若继续长时间运行可能有发生事故的风险,表现为状态评分较低,在此情况下,相应单位是天。缩短周期是指设备状态稍差,按正常周期试验可能存在风险,表现为状态评分偏低,在此情况下,相应单位是百分数,此时如果相应要求是 30,意为将上部分规定的周期缩短 30%。正常周期是指设备状态正常,完全可以按上部分规定的周期进行试验,即不能延长也不需缩短。延长周期是指设备状态良好,比如试验结果与交接试验基本一致、也没有经历不良运行工况、没有家族缺陷记录、巡视也没有异常,表现为状态评分较高,可以适当延长试验周期。此情况下,相应单位是%,此时如果相应要求是 30,意为将上部分规定的周期延长 30%。根据维修策略的调整制定动态的设备维修计划,实质性推动状态维修工作,保证设备在电网的安全运行。

评估采用评分方式,其中 100 分表示设备状态良好,0 分表示设备必须立即退出运行,其他分值表示设备状态介于上述两种状态之间。设备状态评分不同于设备缺陷的诊断,不是试图得到设备确切的缺陷信息,而是依据设备状态信息对设备状态作出的分级性评估。设备状态评分包括试验评分、油试验评分、质量事件评分和家族缺陷评分。

设备状态评分 G 按式 (1) 计算:

$$G = \sqrt{TG \times OG \times EG \times FG} \quad (1)$$

式中: TG 为试验评分; OG 为油试验评分; EG 为

质量事件评分; FG 为家族缺陷评分。

(1) 试验评分 (TG)

试验评分是试验项目评分的加权几何平均值。设一个设备有 m 个试验项目, 第 i 个试验项目的评分为 G_i , 权重为 W_i , 试验评分 TG 为:

$$TG = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m G_i^{W_i}} \quad (2)$$

(2) 油试验评分 (OG)

评分计算公式与式 (2) 相同, 其中 m 表示油试验项目个数, 第 i 个油试验的评分为 G_i , 权重为 W_i 。

试验评分与油试验评分中的单个试验项目评分法

① 常规评分法 (简称常规法)

本方法适应于正劣化、负劣化参量的分析。

设基值为 x_f , 注意值为 x_z , 最近三次试验值分别为 x 、 x_1 、 x_2 , 对应的试验时间分别为 t 、 t_1 、 t_2 ($t > t_1 > t_2$)。

仅有一次试验记录时 (即 x_1 、 x_2 不存在):

$$G_1(x) = \frac{x - x_z}{x_f - x_z} \times 100 \quad (3)$$

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

有两次试验记录 (即 x_2 不存在):

正劣化:

$$G_2(x) = G_1(x + \max(0, x - x_1)) \quad (4)$$

负劣化:

$$G_2(x) = G_1(x + \min(0, x - x_1)) \quad (5)$$

有 3 个或 3 个以上记录, 选最近三个记录 (T 为基本周期):

正劣化:

$$G_3(x) = G_1\left(x + \max\left[0, \frac{3x - 2x_1 - x_2}{3t - 2t_1 - t_2}\right] \times T\right) \quad (6)$$

负劣化:

$$G_3(x) = G_1\left(x + \min\left[0, \frac{3x - 2x_1 - x_2}{3t - 2t_1 - t_2}\right] \times T\right) \quad (7)$$

② 初值差法

适应于偏差性劣化, 正劣化和负劣化。

初值差是指某状态参量的当前试验值 (x) 与其初值 (x_0) 之比的相对变化量 E 定义为:

$$E(x) = \left| \frac{x - x_0}{x_0} \right| \quad (8)$$

式中: 对于正劣化, $x < x_0$ 时, 令 $E = 0$; 对于负劣化 $x > x_0$, 令 $E = 0$ 。对于偏差性劣化不作处理。计算初值差至少要有 2 组试验数据, 一组是当前试验数据, 另一组是代表初值的试验数据。

初值差评分按下式计算 (若表中已有初值差字段, 直接按下式计算):

$$G(x) = \frac{E_z - E(x)}{E_z} \times 100 \quad (9)$$

③ 阈值法

适应于偏差性劣化、超阈值劣化。

主要用于机械或与机械关联参量的评价。通常要求参量值在一定范围。这种要求可能是单边的, 即只限制不大于或不小于注意值 (阈值), 如相间合闸不同期, 只限制不大于 5 ms; 也可能是双边的, 即不得大于上限 x_b , 也不得小于下限 x_a 。

仅测试一次

对于双边阈值: 当 $x_a < x < x_b$ 则:

$$G_1(x) = \left| \frac{2 \min(x - x_a, x_b - x)}{x_b - x_a} \right| \times 100 \quad (10)$$

当 $x < x_a$ 或 $x > x_b$ 时, $G = 0$ 。

对于单边上限阈值: 当 $x < x_b$, 则:

$$G_1(x) = \frac{x_b - x}{x_b - x_0} \times 100 \quad (11)$$

当 $G > 100$ 时 $G = 100$; $G < 0$ 时, $G = 0$ 。

对于单边下限阈值: 当 $x > x_a$, 则:

$$G_1(x) = \frac{x - x_a}{x_0 - x_a} \times 100 \quad (12)$$

当 $G > 100$ 时 $G = 100$; $G < 0$ 时, $G = 0$ 。测试三次 (含) 以上, 若测试过程简单且对设备寿命无明显损伤, 应一次试验测试三次以上。

试验平均值距边界值 (若是双边的, 选边距小的) 与同类产品基值之比, 对于难以确定基值的, 以本设备初值代之。

$$G(x) = G_1(\bar{x} + 3\sigma_{n-1}) \quad (13)$$

式中:

σ_{n-1} 为标偏 (n 为试验次数); \bar{x} 为平均值。 $G > 100$ 时, 令 $G = 100$ 。

(3) 质量事件评分

质量事件包括缺陷、事故、试验超标等、不良工况等。

质量事件评分只考虑设备最近一次检修之后的质量事件。

一次缺陷若有多次处理记录时, 只考虑最后一次处理时的评分;

$$EG = 1 - \sqrt{\sum (1 - \text{质量事件评分})^2}$$

(4) 家族缺陷评分

家族缺陷中的“家族”是指与当前设备属于同一制造商、同一型号的其他设备;

只有家族设备二台以上发生同类缺陷, 且责任为设计或制造, 才进行家族缺陷评分。

$$FG = \frac{N}{N + \sum_{j=1}^m [(1 - \text{第}j\text{组平均评分}) \times 3^m]}$$

式中: N 为家族设备总台数, m 为重复缺陷组数, m_j 为第 j 组重复缺陷的台数。

下面以油纸绝缘套管的介质损耗因数试验项目评分为例说明设备状态评分的方法。

举例: 仍然以油纸绝缘套管介质损耗因素为例, 设首次试验值为 0.1×10^{-2} , 第二次试验值为 0.3×10^{-2} , 第 3 次试验值为 0.3×10^{-2} , 相隔 3 年, 基准周期 3 年, 根据式 (9), 可得:

$$G = G_{11} (0.3 \times 10^{-2} + \max(0, \frac{3 \times 0.3 \times 10^{-2} - 2 \times 0.3 \times 10^{-2} - 0.1 \times 10^{-2}}{2 \times 3 + 6} \times 3)) = G_{11} (0.367 \times 10^{-2}) = \frac{2 \times 0.6 - 0.367}{2 \times 0.6 - 0.1} \times 100\% = 75\%$$

3 系统的实现技术

随着分布式对象技术的逐渐成熟, 多层分布式应用体系结构得到了越来越多的应用。应用系统只有向多层分布式转变, 才能最终解决 CLIENT/SERVER 结构存在的问题^[3]。在多层架构下, 应用可以分布在不同的系统平台上, 通过分布式技术实现异构平台间对象的相互通信。将应用系统集成于分布式系统之上, 能极大地提高系统的可扩展性。因此本系统决定采用基于 Web 的 B/S 程序体系结构。

开发 Web 应用程序的程序语言并不多, 其中微软推出的 .NET 是近年来最重要的新技术, 而 C# 是一门专门用于 .NET Framework 的新编程语言, 它具有适应性强、与微软数据库产品 SQL Server 集成度高、发展前景好等特点, 选择为本项目的开发语言^[4]。

SQL Server 是微软公司的大型商业数据库产品, 具有与 windows 操作系统兼容性好, 使用简单等特点, 并且可以与 .net 框架无缝接口。

4 与在线监测系统集成

状态检修离不开在线监测系统, 理想的状态检

修是数据全部由在线监测系统采集, 这样便可以对设备进行全天候的跟踪, 达到状态检修的目的。目前在线监测系统还不能达到这样的要求^[5], 如果设备的某项或某几项试验有了在线监测系统, 那么该项试验数据便可以由在线监测数据来替代。为此本系统设计了与在线监测系统的接口, 通过此接口可以随时将各类在线监测系统数据接入系统并作为设备评估的依据。接口结构如图 1 所示。

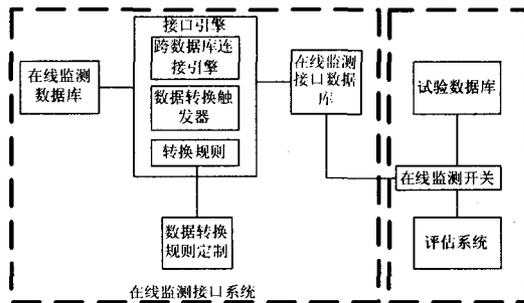


图 1 接口结构

Fig.1 Interface architecture

接口由接口数据库、接口引擎、接口数据结构定制软件三个部分组成, 在线监测接口数据库结构与试验数据库的结构完全一样, 正常评分系统是依据试验数据库的数据进行评分, 如果将在线监测开关打开, 评分系统就依据在线监测接口数据库中的数据进行评分。通过接口引擎将在线监测系统中的数据转换到接口数据库中, 其中跨数据库引擎解决跨数据库数据转换问题的, 通过数据转换触发器将在线监测系统中的数据根据转换规则定时转换到接口数据库中。接口数据结构定制软件是用来定制在线监测系统与接口数据库之间的转换规则的。

5 结论

“输变电设备状态检修评估分析系统”是基于 WEB、以电气设备安全运行为核心、以 MS SQL Server 大型数据库系统为平台、用当前流行的网络开发工具研发的电气设备状态维修管理信息系统。系统采用先进的状态评分思想, 及基于状态维修思想的维修试验策略, 可在不牺牲设备可靠性的前提下, 缩短试验维修时间、提高设备可用率、降低维修试验成本。系统按新的行业标准设计, 适用于各级供电公司电气设备安全运行管理的需要。

参考文献

[1] 娄风丹. 输变电设备状态检修评估分析软件系统[J]. 电力设备, 2004, 5(2): 50-54.

(下转第 63 页 continued on page 63)

- [2] 韩青,尹项根.瞬态脉冲骚扰及抑制方法[J].继电器,2003,31(5):46-48.
HAN Qing, YIN Xiang-gen. The Transient Burst Disturbance and Its Suppression[J]. Relay, 2003, 31(5):46-48.
- [3] 蔡益宇.探讨电力信息系统的雷电电磁脉冲防护[J].电网技术,2003,27(3):12-14.
CAI Yi-yu. A Discussion on Protection Against Lighting Electromagnetic Pulse for Power System Information System[J]. Power System Technology, 2003, 27(3):12-14.
- [4] 杨贵玉,邱家驹,江道灼.瞬态能量冲击对同步测量影响的分析估算及其抑制[J].电力系统自动化,2004,28(12):30-34.
YANG Gui-yu, QIU Jia-ju, JIANG Dao-zhuo. Analyzing, Estimating and Suppressing the Influence of Transient Energy Impulse on Synchronous Measurement[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(12):30-34.
- [5] 张三庆,谷雪松,崔翔.微机保护设备浪涌骚扰的测试及抑制[J].继电器,2004,32(17):70-74.
ZHANG San-qing, GU Xue-song, CUI Xiang. Measurement and Prohibition of Surge on Microprocessor Based Protective Relay[J]. Relay, 2004, 32(17):70-74.
- [6] STMicroelectronics. 1.5KE6V8A/440 1.5KE6V8CA/440CA[EB/OL]. [2002-2] Available: <http://www.st.com>.
- [7] 陈万堂,陈红丽.瞬态电压抑制器[J].传感器技术,2001,20(2):40-42.
CHEN Wan-tang, CHEN Hong-li. Transient Voltage Suppressor[J]. Journal of Transducer Technology, 2001, 20(2):40-42.
- [8] 刘洋,王建国,宋志国,等.瞬态电压抑制器的雷电通流与箝压测试[J].高电压技术,2007,33(1):83-85.
LIU Yang, WANG Jian-guo, SONG Zhi-guo, et al. Lighting Current Withstand Capability and Voltage Limiting Characteristic of TVS[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(1):83-85.
- [9] Bustamante F, Biternas J, Borjas J, et al. Cascade Protection with Transient Voltage Surge Suppressors (TVSS) in Variable Speed Drive for Electro-submersible Pumps, in Proc[A]. In: 2006 IEEE Power Engineering Society Transmission & Distribution Conference and Exposition[C]. Latin American: 2006.1-8.
- [10] Vainio O, Ovaska S J. Digital Filtering for Robust 50/60 Hz Zero Crossing Detector[J]. IEEE Trans on Instrum and Meas, 1996, 45(2):426-430.

收稿日期:2007-09-18; 修回日期:2007-11-12

作者简介:

余力(1984-),男,硕士研究生,研究方向计算机控制技术;E-mail:whu0724@126.com

周洪(1962-),男,博士,教授,研究方向计算机控制、网络控制、多变量控制、火电厂控制。

(上接第57页 continued from page 57)

- LOU Feng-dan. Assessment and Analysis Software System of Condition-based Maintenance for Transmission and Distribution Equipment[J]. Electrical Equipment, 2004, 5(2):50-54.
- [2] SG/TXXXX00X-2006 国家电网公司企业标准.高压电气设备状态维修试验规程[Z].北京:国家电网公司建设运行部,2006.
SG/TXXXX00X-2006. The Condition Maintenance Regulations for HV Electrical Equipment[Z]. Beijing: Construction Operation Department of State Grid Corporation of China, 2006.
- [3] 苗培青,陈宇.输变电主要设备状态检修分析系统及其C++语言实现[J].山东电力高等专科学校学报,1998,27(1):71-80.
MIAO Pei-qing, CHEN Yu. Analysis System of Condition-based Maintenance for Transmission and Distribution Equipment and Its C++ Language Realization[J]. Journal of Shandong Electric Power Institute, 1998, 27(1):71-80.
- [4] Barnaby T. NET 分布式编程--C#[M].黎媛,等译.北京:清华大学出版社,2004.
Barnaby T. Distributed .Net Programming in C#[M]. LI Yuan, et al Trans. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [5] 蔡国雄.在线监测与诊断技术的特点及发展方向.电气设备在线监测、设备诊断与状态检修资料汇编[Z].杭州:浙江省电力试验研究所,1998.
CAI Guo-xiong. Characteristics and Development Directions of Online Monitoring and Diagnostic Techniques, Electrical Equipment Online Monitoring, Diagnosis and Condition Maintenance Data Compilation[Z]. Hangzhou: Zhejiang Province Electric Power Test and Research Institute, 1998.

收稿日期:2007-10-10; 修回日期:2008-01-16

作者简介:

宋人杰(1963-),女,教授,研究方向为多媒体技术及其应用、管理信息系统;E-mail:srj1963331@sina.com;

王晓东(1976-),男,本科,工程师,研究方向为计算机在电力系统中的应用。