

电网设备系统检修策略

汤宗亮¹, 衡思坤¹, 韦海荣²

(1.连云港供电公司,江苏连云港 222000;2.南京导纳能科技有限公司,江苏南京 210028)

摘要:随着输变电设备制造工艺水平的提高和电网设备在线监测技术的日益进步,电网公司的设备检修方式正在由定期检修向状态检修过渡。文中提出了包含电气设备和回路在内的电网设备系统性状态评价方法和检修策略,并通过工程实例证明了系统检修策略的实用性,基于系统和用户观点考虑的检修策略更加有利于电网企业成本控制和供电可靠性的提高。

关键词:系统;回路;检修策略;状态评价

中图分类号:TM73

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2014)03-0053-03

电网设备检修方式经历了故障检修、定期检修和状态检修3个阶段^[1]。故障检修是根据设备故障报修开展的,是一种失度检修方式。定期检修是基于保守的运行经验和设备使用说明书开展的,是一种过度检修方式。随着在线监测技术的发展和输变电设备制造工艺水平的提高,状态检修方式正在国内外逐步推广。但是目前状态检修仅考虑设备自身的状况,没有充分考虑设备检修对电网系统以及用电客户的影响。因此,设备检修方式需要继续向系统状态检修和面向客户的检修方式迈进^[2]。文中提出输变电设备系统检修策略,重点研究单一设备的状态检修如何向面向客户的系统状态检修过渡。

1 系统状态信息收集

1.1 系统状态信息收集模型

系统状态检修的核心是系统状态评价,而系统状态评价的基础是系统状态信息收集。输变电系统状态信息收集是一个包含管理和技术手段的系统性工程。系统状态信息收集模型如图1所示。

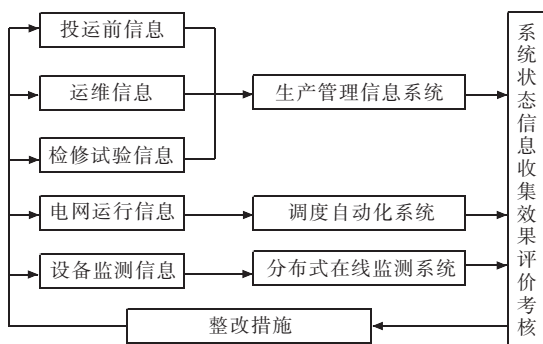


图1 电网系统状态信息收集模型

1.2 系统状态信息特性分析

基于对某2000 MW负荷的地区电网近10年来的运行情况和设备缺陷状况分析来看,输变电系统状

态信息有以下几个特点:(1)系统状态信息包括设备和电网的运行状况;(2)系统状态量的影响程度不同地区不尽相同;(3)系统状态信息是时间函数,状态量的变化趋势往往比状态量本身的数值更为重要。

2 系统状态评价

在系统状态信息收集的同时开展系统状态评价。系统状态评价分为单一设备状态评价、回路状态评价和系统状态评价3个阶段。状态评价结果分为正常状态、注意状态、异常状态和严重状态^[3]。当评价量化值达到特定区间时,即认为评价结果为某种状态。

2.1 单一设备的状态评价

单一设备的状态评价由设备部件的状态评价构成。当设备各部件的状态量量化值达到特定的区间时,则认为设备为某一状态。对一些状态信息量化值没有达到限值但明显差异的,有专门的评价方法。评价结果反应设备整体及所属部件的最严重状态。不同类型的设备应制定不同的评价方法。

2.2 回路的状态评价

单一设备状态评价结束后,进行设备所在的回路状态评价。定义实现同一功能且相互影响的设备群组成一个回路。常见的回路包括母线回路、变电回路和输电回路,见图(2—4)。

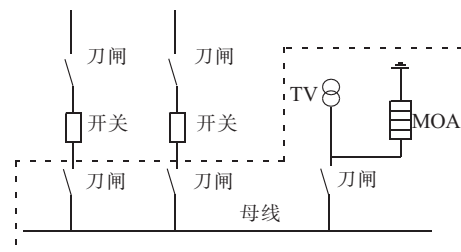


图2 母线回路

回路的的状态评价由回路设备状态评价、回路随机失效性评价、回路风险程度评价和回路技改反措评价四个部分组成。

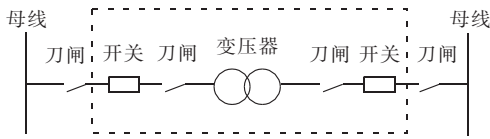


图3 变电回路

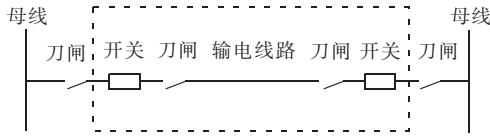


图4 输电回路

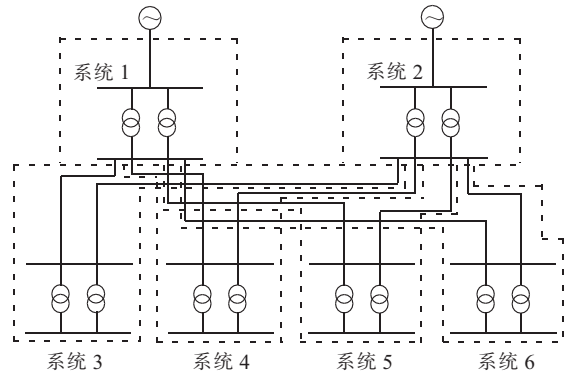


图5 电网系统划分示意

回路设备状态评价包括回路内一、二次设备的状态评价,评价结果反应回路内各设备的最严重状态。

回路随机失效性评价根据各类设备统计故障率,按照式(1)、(2)、(3)进行量化。其中单一设备的故障率由历史统计数据获得。

$$r_n(t) = e^{-\lambda_n(t-t_n)} \quad (1)$$

$$R(t) = r_1(t) \times r_2(t) \times K \times r_n(t) \quad (2)$$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (3)$$

式中: $r_n(t)$ 为评价时刻单一设备的可靠度; n 为回路中设备的数量; λ_n 为单一设备的故障率; t 为评价的时间点; t_n 为设备上一次大修和全校验的时间点; $R(t)$ 为评价时刻回路的可靠度; $F(t)$ 为评价时刻回路的失效率。

回路风险程度评价以设备故障率的浴盆曲线特性为依据,按照式(4)进行量化。

$$Q(t) = \max\{q_1(t), q_2(t), Kq_n(t)\} \quad (4)$$

式中: $Q(t)$ 为回路的风险故障率; $q_n(t)$ 为单一设备的风险故障率。回路的技改反措评价根据回路的危险点源及反措执行情况来开展。

2.3 系统的状态评价

回路评价结束以后,进行回路所在的系统状态评价。定义为同一客户群供电的所有回路的集合为系统。电网中系统的划分如图5所示,系统内部的环节和断面如图6所示。系统状态评价由系统设备状态评价和系统通流能力评价两部分组成。系统设备状态评价由系统内各回路设备的状态评价构成,评价结果反应系统内回路设备的最严重状态。系统通流能力评价由系统承载力评价和系统结构性评价两部分组成。系统承载力评价反应的是系统各回路在最大潮流情况下的过载能力,系统结构性评价反应的是系统在故障下的自适应能力。系统的通流能力评价见表1。

3 系统检修策略

3.1 系统检修策略

系统状态评价按照设备、回路和系统顺序进行,而

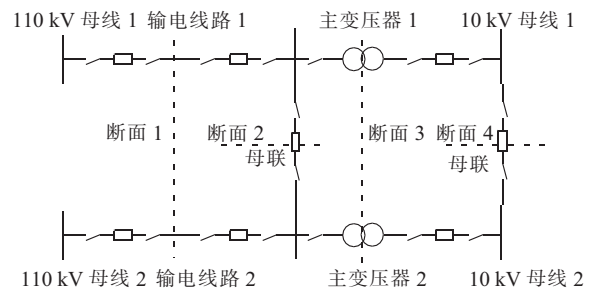


图6 系统环节和断面划分示意

表1 系统通流能力评价标准

评价内容	正常状态	注意状态	异常状态	严重状态
结构性评价	满足N-1,且能自动切换	满足N-1,但需要人工远方操作切换	满足N-1,但需要人工就地操作切换	不满足N-1
承载力评价	最大潮流N-1时,断面设备负载率小于100%	最大潮流N-1时,断面设备负载率最大为100%~120%	最大潮流N-1时,断面设备负载率最大为120%~140%	最大潮流N-1时,断面设备最大负载率超过140%

系统检修策略的制订则正好相反。系统检修策略根据系统状态评价结果,按照系统、回路和设备的顺序逐步明确。系统评价和检修策略工作过程如图7所示。检修策略的制定分为3个步骤:(1)确定系统、回路和设备的检修级别;(2)确定系统的技术改造方案;(3)确定回路的检修方案。

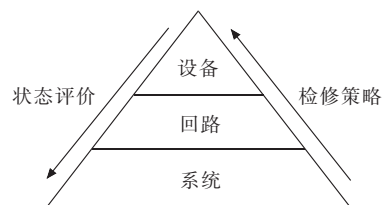


图7 系统状态评价和检修策略工作过程

检修级别分为3种情况:(1)停电检修,根据检修内容的复杂程度细分为A、B、C三类;(2)不停电检修为D类;(3)带电作业和事故抢修为E类。

3.2 系统检修计划

系统检修策略是通过系统检修计划来执行的。检

修计划要明确检修工作的具体执行时间。首先根据回路检修顺序因子来确定各回路的检修顺序。检修顺序的因子越大,回路的检修顺序越靠前。检修顺序因子由回路的状态和回路重要性2个因素决定^[4],其计算方法见图8和式(5)。

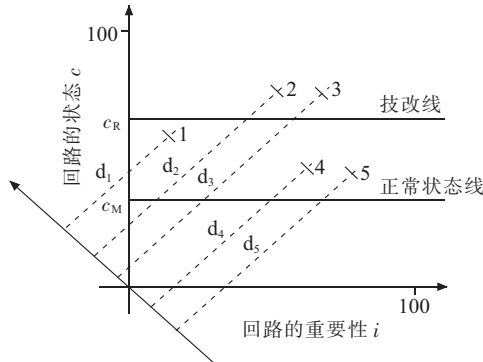


图8 回路检修顺序因子计算方法

$$d = \sqrt{i^2 + c^2} \times \sin\left(\frac{\pi}{4} + \arctg \frac{i}{c}\right) \quad (5)$$

各回路的具体检修时间通常采用启发式算法的优化程序进行优化安排,就是以—个目标函数为方向,考虑各种约束条件,通过不断地尝试来寻找—个最优结果。常见的目标函数是全网各回路检修风险损失电量和最小,回路检修风险损失电量计算见式(6)。

$$W = T \times f \times t \times p \quad (6)$$

式中:W为停电风险损失电量;T为失效修复时间;f为失效频率;t为计划检修天数;p为系统的平均负荷。

4 工程实例

选取港城地区110 kV苍梧变10 kV母线所带客户集合为—个客户群,为该客户群服务的系统定义为苍梧系统,包括风苍线735线路、茅凤线717线路、苍梧1号主变、苍梧2号主变、苍梧10 kV I母、苍梧10 kV II母、苍梧10 kV母联7个回路。每个回路由数量不等的一、二次设备组成,独立完成—个输、变电或者配电功能。具体系统组成如图9所示。

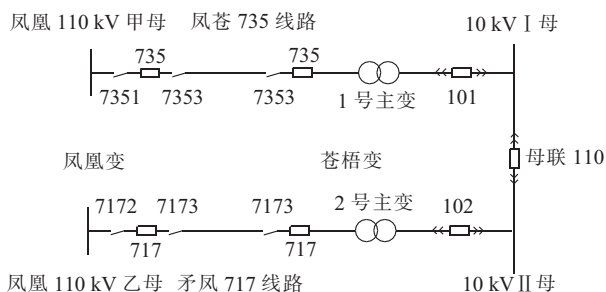


图9 苍梧系统

单一设备状态评价结果为:风苍735线路为异常状态,原因是绝缘子老化;735线路保护为注意状态,原因是校验周期到期;苍梧变1号主变保护为注意状

态,原因是校验周期到期。

综合设备评价结果。回路的状态评价结果为:风苍735线路回路为异常状态;苍梧1号主变回路为注意状态。

环节通流能力评价结果为:变电环节为严重状态,原因是苍梧主变N-1时2号主变过载超过40%;受电环节为异常状态,原因是苍梧10 kV II母出线间隔数量不满足导致部分线路过载。

综合环节通流能力评价结果和回路状态评价结果,该系统的总体评价为严重状态,检修策略见表2。

表2 苍梧系统检修策略

回路名称	回路状态 / 检修级别	检修方案	停电	工时 /d	优化检修时间
风苍735线路	异常/B	1号-16号导线更换绝缘子,开关、刀闸、线路清扫、保护校验	是	1	4月23日
茅凤717线路	正常/D	检修巡视,带电测试维护	否	1	3月21日
苍梧1号主变	注意/C	保护校验	是	1	10月15日
苍梧2号主变	正常/A	主变更换	是	5	5月11日-5月14日
苍梧10千伏I母	正常/D	检修巡视,带电测试维护	否	1	3月22日
苍梧10千伏II母	正常/B	母线新增出线间隔	是	1	5月14日
苍梧10千伏母联	正常/D	检修巡视,带电测试维护	否	1	3月22日

4 结束语

确保经济性和可靠性的适度检修是状态检修。状态检修应从系统和用户角度审视,依据整个系统的状态来安排检修的频度和深度。系统状态评价是核心,不仅要掌握设备的状态,还要掌握回路以及整个系统的状况。公司成本控制和用户电量供应是检修策略目标。状态限值、环境保护和检修业务外包等检修策略约束条件需要进一步研究。

参考文献:

[1] 陆颂元. 美国几个电厂状态检修技术的发展过程及特点[C]//全国火电机组状态检修研讨会论文集. 昆明:中国电力企业联合会,2004:24-28.

[2] XU B, HAN X S, LI M, et al. System Maintenance Scheduling: Review and Prospect[C]//Proceeding of 2nd ISGT(Asia). 天津: ISGT(Asia),2012:37-55.

[3] 国家电网公司生产技术部. Q/GDW 174—2008 架空输电线路状态检修导则[S]. 北京:国家电网公司,2008.

[4] BALZER G, SCHMITT O, HALHANN M, et al. Maintenance and Refurbishment Strategies for M V Substations [C] //Proceeding of 16th CIRED. Amsterdam: CIRED,2001:77-81.

表 4 变压器 A 相有载分接开关过渡电阻与过渡时间

方法	过渡电阻 / Ω	过渡时间 /ms
变压器综合试验系统	2.0	44.7
传统测试仪器	2.0	44.8

效率方面,传统测试方法需要 5 h、3 人完成的试验工作量仅需 2 h、2 人即可完成相应工作。

5 结束语

建立了变压器综合试验系统,提出了变压器一次性试验接线方法,通过程序顺序控制,可一键式操作完成变压器绝缘电阻、短路阻抗、变压器变比、绕组直流电阻、有载分接开关测试、介质损耗等电气试验项目,该方法大大减小了试验工作量,可显著提高变压器电气试验效率。

参考文献:

- [1] 谢毓城. 电力变压器手册[M]. 北京:机械工业出版社,2003:2-3.
[2] 陈天翔,王寅仲. 电气试验[M]. 北京:中国电力出版社,2005:

19-33.

- [3] 保定天威保变电气股份有限公司. 变压器试验技术[M]. 北京:机械工业出版社,2000:4-5.
[4] 甘强,吉亚民,陈轩. 一起 220 kV 变压器局部放电试验异常情况分析[J]. 江苏电机工程,2013,32(3):10-12.
[5] 翁国庆,贾俊波. 电气试验车软件系统的设计与开发[J]. 高电压技术,2003,29(11):52-54.
[6] 刘志刚,贾俊波. VFP 在开发电气试验车试验界面中的应用[J]. 高电压技术,2002,28(11):44-45.

作者简介:

- 孙秋芹(1984),男,湖南岳阳人,博士,从事电力系统过电压及高压电气试验方面的研究工作;
周志成(1978),男,湖南株洲人,高级工程师,从事高电压与绝缘技术方面的研究工作;
赵科(1984),男,江苏无锡人,工程师,从事高压电气试验方面的研究工作;
刘洋(1982),男,江西景德镇人,博士,从事输变电设备外绝缘方面的研究工作;
陶风波(1982),男,江苏常州人,博士,从事高电压与绝缘技术方面的研究工作。

Design and Realization of Comprehensive Electrical Test System for Transformers

SUN Qiuqin, ZHOU Zhicheng, ZHAO Ke, LIU Yang, TAO Fengbo

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: There are various testing items for the transformer in order to evaluate its performance. However, nowadays most of the test instrument could only measure one or two items. A comprehensive electrical test system is designed and realized in this paper, which integrated the conventional test items for the transformer including the insulation resistance, the short circuit impedance, transformer ratio, DC resistance of winding, dielectric loss, the transition resistance and transition time of on load tap changer of transformers and so on. The corresponding software is developed based on C# programming language. With the comprehensive electrical test system, a 'one-key operation' test for transformers is achieved, which improves testing efficiency largely.

Key words: transformer; electrical test; system integration; software development

(上接第 55 页)

作者简介:

汤宗亮(1973),男,安徽肥东人,工程师,从事电力设备运维检修工作;

衡思坤(1963),男,江苏邳州人,高级工程师,从事电力设备运维检修工作;

韦海荣(1977),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力设备研究开发工作。

A Strategy for Power Grid Equipment Maintenance

TANG Zongliang¹, HENG Sikun¹, WEI Hairong²

(1. Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222000, China;

2. Nanjing Daonaneng Technology Co. Ltd., Nanjing 210028, China)

Abstract: With the improvement of manufacturing of transmission and transformer equipment and the progress of on-line monitoring technology for power grid equipment, the model of equipment maintenance is changing from periodical maintenance to status decided maintenance. An evaluating approach and maintenance strategy for the power grid including equipment and circuit is proposed. The practice of the proposed strategy is validated by engineering projects. For the views of power system and customers, it benefits the cost management of power supply enterprise and the reliability of power supply.

Key words: system; circuit; maintenance strategy; status evaluation