

输变电设备状态维修策略

方 晴, 罗军川, 华永东

(四川省广元电业局, 四川 广元 628000)

摘 要: 论述了电力变压器、SF₆ 开关和输电线路的状态维修策略, 指出了状态维修工作中应当注意的几项重要环节, 对开展输变电设备状态维修有重要参考价值。

关键词: 电气设备; 状态分析; 维修策略; 控制盐密

Abstract: The state maintenance strategies of power transformer, SF₆ switch and transmission line are discussed, and several important links needing attention in state maintenance are pointed out, which have a significant reference value for implementing the state maintenance of transmission and transformation equipment.

Key words: electric apparatus; state analysis; maintenance strategy; salt density control.

中图分类号: TM63 文献标识码: A 文章编号: 1003-6954(2008)02-0001-05

1 状态维修的基本策略^[1]

1.1 状态信息的构成

状态维修的基础在于状态分析, 而状态分析的基础是状态信息。因此设备状态信息是评估设备状态的主要依据和开展状态维修的必要条件。设备状态信息主要包括: ①预防性试验数据(包括传统试验项目、特殊试验项目、带电诊断以及在线监测等); ②与设备状态相关的运行信息(如反映变压器寿命损失的负荷-时间记录、反映开关触头老化的开断大电流-时间记录等); ③缺陷、事故和维修记录(包括家族质量记录)。过去, 在人们日常的设备管理中, 这些状态信息彼此隔离或无记录, 这不利于全面的设备状态分析, 建议建立计算机管理档案系统。

预防性试验以《预防性试验规程》为主, 但应考虑近年来发展的新的试验技术, 如变压器绕组变形、红外和紫外检测等。不良运行工况因设备不同而异, 如变压器, 可以考虑过负荷(过负荷程度和持续时间)、侵入波(幅值和陡度)、出口(近区)短路等; 对于断路器包括开断短路以及负荷电流的幅值、时间, 操作次数等等。缺陷记录指从出厂试验、交接试验和运行过程中发现的各种异常和缺陷, 包括非绝缘性缺陷, 如漏油、漏气等。维修记录主要反映设备的维修历史, 如何种原因维修、何种性质的维修、维修中发现的问题与维修前评估、维修的效果等。家族质量记录主要基于这样一个概念, 同一型号、特别是同一制造商同

一型号的设备, 往往有共同的质量弱点, 家族质量记录对其它设备有警示作用。

1.2 状态分析和维修策略

状态分析的目的是基于设备的状态信息, 对设备状态做出一个初步的评价, 作为安排维修的一个依据。设备状态分析方法有两个: 横向对比和纵向对比。横向对比是将某个设备的状态信息与同类设备等相比较, 以确定劣化的显著性, 若被比较设备的状态信息与同类设备之间没有显著性差异, 基本可以确定设备是正常的, 比较时涉及的同类设备越多, 结论越可靠。因为大量设备同时出现缺陷的几率很小。在进行横向比较时有两个因素可能影响结论, 一是同类设备的含义, 二是同类设备的数量。纵向对比分析是从设备劣化的趋势来确定设备的状态, 即不局限以一个阈值作为设备“合格”与“不合格”的分水岭, 而是根据劣化的趋势来识别设备的状态。其实许多情况下设备的状态并非如此界限分明, 缺陷的最终显露通常是微小的劣化逐步发展的结果, 所以说, 相当部分的设备处在正常和有缺陷之间的第三种状态, 即灰色状态, 而这些设备才是状态监督管理的重点和难点。

1.2.1 电力变压器

目前, 国内有些地方依据设备实际的状态信息, 包括各个试验项目(如在线监测、预防性试验、交接试验等)、家族缺陷事故记录、不良运行工况记录等, 将变压器设备状态划分为四类, 即正常状态、可靠性下降状态、可疑状态和危险状态, 并兼顾设备在网络中的重要性, 对维修周期及维修方案进行灵活的调整,

进而针对处于不同状态的设备采用不同的维修策略^[2]。

1) 正常状态:指运行正常、试验数据正常或其中个别试验参数可疑,但数据稳定的变压器。处于正常状态下的变压器,应坚持正常在线监测、离线的周期性试验以及值班员和专业维修人员定期的巡视检查。

2) 可疑状态:指在试验周期内,发现某些参数反映变压器内部可能有异常现象,但仍有很多不确定因素的变压器。

可疑状态情况下,变压器可继续运行,但应缩短试验周期并跟踪监测,在监测期间没有进一步劣化趋势并稳定在某一合格值内,变压器可不进行维修。凡属此类变压器,应作出诊断报告,制订出缩短周期及跟踪监测、检查试验项目措施计划。

3) 可靠性下降状态:指历次周期性试验或跟踪测试结果分析存在故障,且基本确定故障部位及故障原因,分析判断这种故障在短期内不会发生事故的变压器,但变压器绝缘状态及安全可靠性在下降,变压器必须通过维修才能恢复到正常状态,但估计在短期内不会有危险。凡属此类变压器,应作出诊断报告,抓紧安排停电,进行有针对性的维修。

4) 危险状态:指试验数据或运行参数表明,变压器内部故障已不能运行或运行中随时有可能发生事

故的变压器。此时变压器已处于危险状态,应立即停止运行,进行恢复性维修,并考虑吊罩(吊芯)维修。

1.2.2 SF₆ 断路器

SF₆ 开关由于其具有开断容量大、寿命长、维护工作量少、运行可靠等诸多优点,已在电力系统中得到广泛的应用。SF₆ 开关本身具有的特点以及对维修(尤其是大修)的特殊要求,并结合安全、经济运行的要求,使得原主要针对少油开关而制定的有关开关设备维修规定已不能满足实际的生产需要,而国产设备制造厂则要求其产品投运 10~15 年需做解体大修,20 世纪 90 年代初期以来安装投运的 SF₆ 开关设备将不可避免面临这一问题,为此修订 SF₆ 开关维修的有关规定,根据开关运行状况和性能的好坏决定开关是否进行维修,进行何种程度的维修,针对不同状态的设备采用不同的维修策略,即开展 SF₆ 开关状态维修已显得十分必要。

根据广东省在 SF₆ 开关多年运行维护经验的基础上,通过对连续运行了近 10 年的多台平开 LW6-110 断路器进行返厂首次解体(解体前测试结果均在合格范围内)情况的研究分析(解体情况从略),得出了一些有益的结论^[3],为开展 SF₆ 开关状态维修奠定了基础。表 1 即是 SF₆ 开关状态分析与维修策略。

表 1 SF₆ 开关状态分析与维修策略

维修设备	本 体	液压操作机构
状态判据		
满容量开断次数	>19 次,应解体大修	一般不宜进行解体维修,从技术性和经济性两者着眼,较适宜的做法是局部更换或整体更换。
累计开断电流值	≥4 000 kA,应解体大修	①运行时间 10 年及以上,如属高压油系统内的主阀体元件故障,则对整个液压系统进行更换。若是仅低压油系统元件出现故障,则仅更换该元件;
SF ₆ 气体泄漏量	>1%,应解体大修	②运行年限在 10 年以内,原则上是更换故障元件。若液压系统内的主要阀体元件普遍存在问题,则应采取整体更换方式;
SF ₆ 气体微水含量	>300×10 ⁻⁶ ,经两次以上处理(间隔时间 6 个月)仍不能解决,应解体大修	③对于管道接头,其维修较简单,一般采用紧固螺帽或重做接头处理。
回路电阻	严重超标,视实际情况经分析后确定是否解体维修	
瓷套完好情况	瓷套破损严重,有明显裂纹	
备 注	开关的电寿命、SF ₆ 气体泄漏及微水含量是确定 SF ₆ 开关本体是否需要大修的主要状态指标。应结合各种停电机会,对开关外部进行必要的维护修理工作。检查各法兰处的密封情况,譬如密封面内有无锈水渗出,密封硅脂是否老化破损,如有问题及时修补。	

注释:累计开断电流值为开关历次开断的短路电流和负荷电流之总和(含满容量开断电流)。

1.2.3 输电线路

目前,输电线路的状态维修内容主要是以盐密测量值指导线路清扫周期,以及利用红外诊断结果对引流线夹和压接管发热缺陷进行针对性维修。

架空输电线路的运行状态取决于绝缘子的耐污水平。据有关资料反映的情况来看,停电维修期间清扫工作要占整个维修工作量的 80% 左右^[4],且由于停电时间短,清扫质量得不到保证,甚至出现刚清扫完就发生污闪的现象。因此,架空输电线路状态维修的主要内容就是解决状态清扫问题。

1) 盐密增长估算公式。根据多年来盐密测试数据的统计结果和经验,输电线路绝缘子串积污从每年的 9 月开始逐步增加,到第 2 年雨季来临前的 3 月左右达到最大,这段时间为绝缘子的积污期,之后由于春夏季雨水的冲刷盐密下降,直到干燥的秋季绝缘子串积污过程又重新开始。绝缘子的积污周期一般在每年 9 月份至次年雨季前的 3 月份。在积污周期内,绝缘子表面污物的累积按 2 个速率增加;在起始阶段绝缘子表面积污快速增长;在积污后期绝缘子表面积污缓慢增长。

110 kV 线路整串为普通型绝缘子盐密增长估算公式^[4]:

$$S_d = S_0 + 2.16 \times 10^{-4} T_1 + 1.43 \times 10^{-4} T_2 \quad (1)$$

220 kV 线路整串为耐污型绝缘子盐密增长估算公式^[4]:

$$S_d = S_0 + 1.71 \times 10^{-4} T_1 + 1.11 \times 10^{-4} T_2 \quad (1)$$

式中: S_d 为盐密估算值; S_0 为在积污周期内第 1 次盐密测试基准值(建议选择为每年 10 月底的盐密测试值); T_1 为从第 1 次盐密测试到年底的 12 月 31 日之间的天数; T_2 为 1 月 1 日至 2 月 28 日之间的天数。

2) 几种较为常用的线路绝缘子盐密控制值的计算(估算)方法:

(1) 表面电导率估算控制盐密值。由绝缘子污闪机理可知,只要控制污秽绝缘子表面局部放电的发展,就能避免污闪的发生。

因此,自然污秽绝缘子串最大泄漏电流从试验结果来看一般应控制在 80 mA 及以下,留有 20% 的安全裕度,选取自然污秽绝缘子最大泄漏电流控制值为 65 mA 是适宜的。

在一定绝缘结构和一定污秽程度下运行的绝缘子,必然有一个对应的最大泄漏电流。反之,如果已

知绝缘子最大污秽泄漏电流,则可知道该绝缘子的污秽度。绝缘子表面电导率就表征了这种关系。

110 kV 线路绝缘子盐密值估算公式为:

$$\sigma = In^2 f L_0 [1 - b(\theta - 20)] / U_m \quad (3)$$

式中: I 为经湿污层流过的最大泄漏电流值, mA; U_m 为 110 kV 最高运行对地电压, kV; L_0 为单片绝缘子爬电距离, m; f 为绝缘子形状系数; θ 为绝缘子湿污层表面温度; b 为取决于温度 θ 的因数; n 为绝缘子片数。

将计算结果与文献[5]中盘型悬式绝缘子人工污秽耐受值对应的污层电导率下限值进行比较,得到的数值再乘上对应的盐密下限值即为该绝缘子盐密控制值。

四川广元电业局 110 kV 上旺线为 II 级污区,绝缘子采用 7 片 XP-7, $L_0 = 0.29$ m, $f = 0.826$, $U_m = 73$ kV, $I = 65$ mA。试验时环境温度为 5 °C, 即 $\theta = 5$ °C, $b = 0.03156$ 。

由此得到:

$$\sigma = 65 \times 7^2 \times 0.826 \times 0.30 \times [1 - 0.03156(5 - 20)] / 73 = 15.40 (\mu\text{S}/\text{cm})$$

将 σ 值除以污秽电导率 12~16 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 的下限值,得到倍数为 1.28,用这个倍数乘以对应的等值盐密 0.06~0.1 mg/cm^2 的下限值就得出该绝缘子盐密控制值为 0.0768 mg/cm^2 。

由于 220 kV 及以上线路绝缘子串较长,污秽分布不均匀,绝缘子表面的污秽泄漏电流分散性较大,火花放电不稳定,绝缘子污秽度与表面泄露电流两者对应关系较差。因此,对 220 kV 及以上长串绝缘子通过最大泄漏电流和放电形式判别盐密与污闪之间的关系是不可行的。

(2) 采用回归方程估算盐密控制值。国内对污秽绝缘子在各种盐密与污闪电压的关系进行了大量的试验研究,主要方法为在试验室内对各种典型的 3~7 片绝缘子,采用固体污层法进行人工污秽试验,得到单片绝缘子污闪电压,用回归方程表达绝缘子的污闪特性,回归方程与试验结果相关性很好。

污闪电压与盐密关系的回归方程^[4]:

7 片 X-4.5 型绝缘子串的回归方程:

$$U = 32.1 S^{-0.3223}$$

7 片 XP-7 型绝缘子串的回归方程:

$$U = 39.3 S^{-0.2565}$$

7 片 XWP2-7 型绝缘子串的回归方程:

$$U=48.3 S^{-0.2450}$$

线性推算出 220 kV 线路绝缘子污闪电压与盐密关系的回归方程为:

$$13 \text{ 片 X-4.5} \quad U=59.6 S^{-0.3223}$$

$$13 \text{ 片 XP-7} \quad U=72.9 S^{-0.2565}$$

$$13 \text{ 片 XWP2-7} \quad U=89.6 S^{-0.2450}$$

式中, U ——绝缘子串的污闪电压, kV;

S ——盐密控制值, mg/cm^2 。

表 2 即为通过污闪电压与盐密关系的回归方程估算控制盐密值实例。

(3)采用插入法计算

采用插入法计算公式如下:

$$\text{允许盐密值: } X=(B-A)/(D-C) \cdot (E-C)+A$$

$$\text{控制盐密值: } Y=X \cdot K$$

式中, A ——盐密值上限, mg/cm^2 ;

B ——盐密值下限, mg/cm^2 ;

C ——泄漏比距上限 (cm/kV , 按系统额定电压计算);

D ——泄漏比距下限 (cm/kV , 按系统额定电压计算);

E ——已知线路的泄漏比距 (cm/kV , 按系统额定电压计算);

K ——安全系数, 取 0.8。

表 3 为采用插入法控制盐密的计算过程。

从表 2、表 3 几种估算方法得知:

①基于污秽等级划分原则, 回归方程估算与插入

法的计算结果较采用表面电导率估算控制盐密值的方法偏严。插入法偏保守, 回归方程估算方法其经济性和安全性较适中。

②防污型绝缘子 XWP2-7 控制盐密值是普通型 XP-7 绝缘子时的近两倍, 说明耐污型绝缘子比普通型绝缘子的防污效果要好。这是由于耐污型绝缘子爬距大, 易形成多个干区, 局部放电频率高。采用防污型绝缘子是在不改变原线路杆塔结构尺寸的有效绝缘配置方式, 提高了线路防污水平, 延长了线路清扫周期。

③线路盐密控制值的选取, 应以运行经验为主, 结合该线路污秽划分等级, 并参考计算结果予以确定。如果盐密测试值超过盐密控制值, 绝缘子发生污闪的概率将大增, 应及时安排对该线路的清扫, 否则可适当延长清扫周期。

④利用盐密值控制清扫的时间在技术上应做到三点: 其一, 必须确定一定耐受水平下的盐密控制值; 其二, 所测取的绝缘子盐密值应具有代表性; 其三, 掌握清扫绝缘子在运行地区盐密的累积速度。由绝缘子串积污随时间变化的规律可知, 只要在绝缘子串积污的起始阶段(如每年 10 月底至 11 月初)测量出线路的盐密值, 再依据绝缘子串积污速率, 判断出该线路绝缘子串上可能出现的最大盐密是否超过盐密控制值, 就可决定该线路是否需要清扫。

3) 用盐密指导线路实施状态清扫方法: ①盐密控制值的确定。110 kV 线路可采用表面电导率估算

表 2 回归方程估算控制盐密

线路名称	绝缘配置	回归方程	盐密控制值 S
220 kV 宝白线	直线塔 13 片 XP-7 绝缘子	$U=72.9 S^{-0.2565}$	0.047
	直线塔 13 片 XWP2-7 绝缘子	$U=89.6 S^{-0.2450}$	0.098
110 kV 上旺线	直线塔 7 片 XP-7 绝缘子	$U=39.3 S^{-0.2565}$	0.063

说明: 该表中控制盐密值考虑了 30% 的盐密分散性。

表 3 插入法计算控制盐密

线路名称	绝缘配置	计算参数	控制盐密值 Y
110 kV 上旺线	II 级污区, 直线塔 7 片 XP-7 绝缘子(单片爬距为 290 mm)	$A=0.1, B=0.06,$ $C=2.5, D=2, E=1.9$	0.041 6
110 kV 沙剑线	II 级污区, 直线塔 7 片 XWP-7 绝缘子(单片爬距为 400 mm)	$A=0.1, B=0.06,$ $C=2.5, D=2, E=2.55$	0.083 2

公式和污闪电压与盐密的回归方程进行盐密控制值的计算;220 kV 线路可采用污闪电压与盐密的回归方程进行盐密控制值的计算。线路盐密控制值的选取应以运行经验为主,结合该线路污秽划分等级,并参考计算结果进行确定。② 盐密测试和最大值估算。在积污周期内线路设点杆塔绝缘子盐密第1次测试的时间应安排在每年的10月底、11月初。测试的盐密值依据盐密增长速率公式进行最大值估算。如果第1次测试的盐密值超过控制值的50%,应在间隔1月后进行第2次盐密测量,以便重新估算最大盐密值。③ 线路清扫判据。如果估算出的最大盐密值有可能超过盐密控制值,应及时安排对该线路进行清扫。否则,可适当延长清扫周期。

2 开展状态维修的几项重要环节

2.1 把好设备初始状态关

初始状态包括:(1)注重设备设计选型工作,有意识地为运行中开展带电或在线检测创造先天条件;(2)加强对设备的监造和出厂验收,确保产品入网质量;(3)加强对安装调试质量的监督检查,严把验收关;(4)新设备在投运后力争在5年内进行一次大修,以便更深入地掌握设备在设计、制造和安装过程中所遗留缺陷和问题。

2.2 积极采用先进的在线或带电检测手段

对运行中的设备除了加强常规监督测试,严格执行预防性试验规程和设备定期检查试验制度中规定的试验和维修项目外,还要配合采用先进的检测手段(譬如,带电检测设备的泄漏电流、油色谱分析、红外诊断等),及时掌握设备的技术状态。

2.3 提高状态分析水平

设备状态分析水平是状态监测与状态维修相衔接的关键一环,主要包括三个方面:① 加快变电站设备在线监测数据向维修中心远传功能的开发,并提高传送水平;② 建立设备状态的微机信息管理系统;③ 加强测试数据分析。要重点把有助于广泛掌握设备状态和把握设备状态变化趋势,从而制定更科学的维修策略的数理统计的方法应用到状态维修中去,即通过对有关设备大量的历史资料,包括出厂试验、历次试验、维修与故障记录以及运行状况等的统计分

析,对某类设备的状态作出评估,对其状态的变化趋势或规律作出预测。

3 结语

1) 随着电网容量的增大和用户对供电可靠性要求的日益提高,定期维修管理体制的固有弊端在电力生产实践中越来越突出,状态维修势在必行,以获取最佳的综合经济效益。

2) 变压器状态维修根据设备状态信息将设备状态归为四类,即正常状态、可靠性下降状态、可疑状态和危险状态,针对不同状态采用不同的维修策略。

3) SF₆ 开关的寿命、气体泄漏及微水含量是确定 SF₆ 开关本体是否需要大修的主要状态指标。液压操作机构一般不宜进行解体维修,着眼于技术性和经济性,较适宜的做法是局部更换或整体更换。

4) 输电线路的状态维修以采取盐密控制值指导清扫周期为主要内容,控制盐密的计算方法有回归方程估算、表面电导率估算和插入法,插入法计算结果偏严,回归方程估算方法较适中。线路盐密控制值的选取应以运行经验为主,结合该线路污秽划分等级,并参考计算结果予以确定。

5) 开展状态维修管理体制创新,把好设备的初始状态关,应用新的检测手段,建立设备信息管理专家系统,提高状态分析水平,是状态维修决策的关键。

参考文献

- [1] 中国电科院高压所.关于制订《电气设备状态检修规程》的思路[A].
- [2] 四川省电力公司企业标准(QB).电力变压器状态诊断与检修导则[S].2006.
- [3] 陈宇强等.SF₆ 开关状态检修的研究[J].高压电器通讯.2000(2):14.
- [4] 汪涛等.用盐密指导高压输电线路清扫的试验研究[J].电网技术.2004(4):22.
- [5] GB/T 5582-93,高压电力设备外绝缘污秽等级[s].

作者简介:

方 晴(1963~),男,高级工程师,四川省广元电业局生产副局长,从事电力生产管理工作。

(收稿日期:2008-02-14)