

电力电缆工频电压试验设备的选择与应用

朱世荣¹, 张光武²

(1. 福建南平市中心检验所, 福建 南平 353000; 2. 浙江省质量技术监督检测研究院, 浙江 杭州 310013)

摘要:通过分析电力电缆电压试验的负载特性以及变压器式和串联谐振两种工频电压试验设备的工作原理和特点,对工频电压试验设备的选择提出建议。

关键词:电力电缆; 工频电压试验; 设备; 选择

中图分类号: TM206; TM247.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-6901(2010)03-0042-03

Selection and Application of the Apparatus for the Commercial Frequency Voltage Test for Power Cables

ZHU Shi-rong, et al

(Fujian-Nanping Central Inspection Institute, Nanping 353000, China)

Abstract: By analyzing the load characteristics of the voltage test on power cables and the working principle and characteristics of the transformer-type and series resonance-type test apparatus for commercial frequency voltage test, the author put forward some suggestions about the selection of the apparatus for the commercial frequency voltage test for power cables.

Key words: power cable; commercial frequency voltage test; apparatus; selection

0 引言

工频电压试验设备是电力电缆局部放电试验和交流电压试验的高压主设备,在 GB12706—2008 标准中^[1],局部放电试验和交流电压试验作为成品电缆的重要检验项目,其最高试验电压为 104 kV,因此,试验设备技术要求高,制造工艺复杂,其价格十分昂贵。目前,常用的工频电压试验设备有变压器式和串联谐振两种,由于两种变压方式各有其技术特点,因此,应根据自身试品需要,选择不同的试验设备。

1 工频电压试验设备结构和工作原理

1.1 设备结构

变压器式工频电压试验设备常见结构见图 1,其中,试验高压由试验变压器升压实现,调压设备调节试验电压的大小。

串联谐振工频电压试验设备常见结构见图 2,其中,试验高压由励磁变压器和串联谐振两级升压实现。

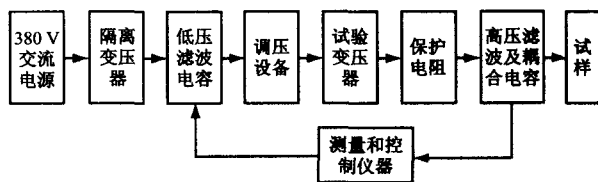


图1 变压器式工频电压试验设备结构框图

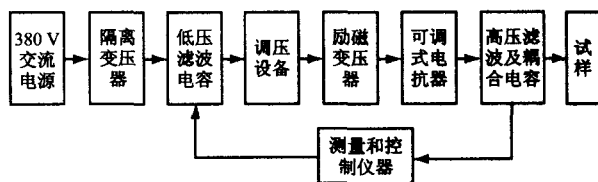


图2 串联谐振工频电压试验设备结构框图

以上两种升压方式均可根据试验需要,通过测量和控制仪器的工作状态选择进行局部放电试验或交流电压试验,工作频率为工频 50 Hz。

1.2 工作原理

电缆在局部放电试验和交流电压试验时为容性负载,因此以下工作原理以容性负载分析。

(1) 变压器式工作原理。采用一次线圈与二次线圈间电磁感应或同线圈带抽头自感来变换电压,电路模型见图 3。其电压、电流、容量的计算式为:

$$U_c < kU,$$

$$I_c = kU_s / (R + j/\omega C_x) = U_c \omega C_x,$$

$$S_s = kU_s I_c$$

收稿日期: 2009-12-22

作者简介: 朱世荣(1965-),男,工程师,副所长。

作者地址: 福建南平市文体路 203 号[353000]。

$$S_c = U_c I_c$$

式中, U_c 为试验电压(即输出电压); U_1 为试验变压器的输入电压; k 为一次线圈与二次线圈的匝数比(即变压器的变比); I_c 为输出电流; R 为高压回路保护电阻值; ω 为角频率, $\omega = 2\pi f, f = 50 \text{ Hz}$; C_x 为被测试样电容量; S_1 为输入容量; S_c 为输出容量。

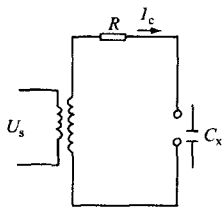


图3 变压器式电路模型

(2) 串联谐振工作原理。串联谐振又称电压谐振,它是RLC串联电路,其电路模型见图4。当调节电抗器电感与回路容抗相等时,电路将产生谐振,此时:

$$\omega L = 1/\omega C_x$$

式中, L 为电抗器电感。

在谐振状态下:

$$I_c = U_c / R'$$

$$U_c = I_c / \omega C_x = I_c \omega L = U_1 \omega L / R' = QU$$

$$S_1 = U_1 I_c$$

$$S_c = U_c I_c = QU I_c = QS$$

式中, R' 为回路有功损耗的等效电阻,其阻值很小; Q 为谐振回路的品质因数, $Q = \omega L / R'$ 。

由 $S_c = QS$ 可知,输出容量为输入容量的 Q 倍,从而实现较小电源输入容量获得较大的试验容量。

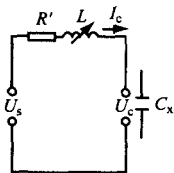


图4 串联谐振电路模型

2 电缆无功功率的计算

从资料中查阅所得的交联聚乙烯绝缘电力电缆(以下简称交联电缆)电容标准值,见表1。

GB/T 3048—2007 标准规定^[2],电缆的型式试验应按产品标准规定取短段电缆试样,例行试验应在制造长度的电缆产品上进行。电缆电容量 C_x 随电缆规格和长度的增大而增大,规格和长度不同,电缆的无功功率差别也很大。

例1,额定电压 26/35 kV, 630 mm² 的交联电缆,当长度为 2 km,试验电压为 2.5 U_0 。其无功功率 W 为:

$$W = 2.5 U_0 I_c = (2.5 U_0)^2 \omega C_x = (2.5 \times 26)^2 \times 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.2533 \times 2 = 672.1 \text{ kVA}$$

表1 交联电缆电容 C_x 标准值

| 导体截面积/mm ² | 电压等级 | | | |
|-----------------------|----------|-----------------|----------------------|----------|
| | 18/30 kV | 6/6 kV, 6/10 kV | 8.7/10 kV, 8.7/15 kV | 26/35 kV |
| 25 | 0.116 3 | 0.192 2 | 0.157 6 | 0.099 2 |
| 35 | 0.125 1 | 0.211 6 | 0.172 5 | 0.106 1 |
| 50 | 0.136 3 | 0.236 7 | 0.191 7 | 0.115 0 |
| 70 | 0.150 8 | 0.269 3 | 0.216 7 | 0.126 3 |
| 95 | 0.164 3 | 0.299 9 | 0.240 0 | 0.136 8 |
| 120 | 0.176 0 | 0.326 6 | 0.260 3 | 0.146 0 |
| 150 | 0.189 3 | 0.357 0 | 0.283 4 | 0.156 3 |
| 185 | 0.202 6 | 0.387 3 | 0.312 3 | 0.166 5 |
| 240 | 0.220 7 | 0.429 0 | 0.343 9 | 0.180 5 |
| 300 | 0.238 7 | 0.470 6 | 0.375 5 | 0.194 5 |
| 400 | 0.264 8 | 0.531 1 | 0.421 3 | 0.214 6 |
| 500 | 0.287 6 | 0.583 9 | 0.461 3 | 0.232 1 |
| 630 | 0.315 1 | 0.648 1 | 0.509 9 | 0.253 3 |

注:电缆长度为 1 km。

例2,与上述同规格的额定电压 26/35 kV, 630 mm² 的交联电缆,当电缆试样长度为 15 m,试验电压为 4 U_0 ,其无功功率 W 为:

$$W = 4 U_0 I_c = (4 U_0)^2 \omega C_x = (4 \times 26)^2 \times 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.2533 \times 15/1000 = 12.9 \text{ kVA}$$

由此可知,同规格的电缆试样长度不同,其无功功率相差很大。

3 工频电压试验设备的选择

受电源容量和设备造价等因素限制,35 kV 交联电缆的工频电压试验设备的设计额定容量一般不超过 100 kVA,设计额定电压一般为 120 ~ 150 kV,此外,为了防止外部(如无线电、杂波等)干扰和保证试验安全,设备安装时还应配套建造屏蔽房、绝缘地坪和不大于 1 Ω 的接地装置等设施。

(1) 变压器式工频电压设备。由于设计的额定容量一般不超过 100 kVA,其试验时的额定输出容量更小,对于长电缆试样,由于输出容量和回路电流要求很大,因此,必须增大回路导线和变压器线圈的导体截面积,以及增大电源、保护电阻等其它元件的额定容量,这将导致试验变压器和其它元件的体积十分庞大,设备造价也将成倍增长。

(下转第 46 页)

完善的老化评价体系,并结合线路的运行情况,制定多维评价指标,依据强化条件试验的结果分析,对线路状态进行评级,对划分入不同等级的线路及其典型问题采取不同的应对策略。

评估模型需要通过电缆绝缘系统的裕度试验和多因子老化试验,得到电缆绝缘系统的裕度信息和老化信息。结合实际运行状况,根据相关标准和判据,给出定性或定量的系统性能和可靠性指标。

3.2 寿命管理

案例中的综合试验说明了10 kV XLPE 电缆绝缘中“弱点”的不连续性和随机性。它与所取样品段的完好状态及其运行环境密切相关。因此,对电缆线路的寿命管理应以故障率为主要考核指标,而状态评估中涉及的电缆“寿命”应是实际的可运行寿命,需要依此制定合理的相对终止标准和失效判据。

根据加速寿命试验,案例中样品的寿命推算以2~3年为界,呈两极化分布的趋势,反映出电缆样品的可靠性基本符合浴盆曲线(bathtub curve)的规律,即在其运行历程中存在早期故障期、偶然故障期

(上接第43页)

此外,大电流工作时升压起始阶段会导致波形畸变和三次、五次谐波的产生,这些均对电压测量带来困难。因此,变压器式工频电压试验设备并不适用于长电缆试样的测试。

对于短段试样这种试验输出容量要求较小时,变压器式电压试验设备具有以下优点:1)结构简单,设备造价低;2)调压方便,容易控制,调压过程简单直观;3)试验电压波形与电源基本一致。

(2) 串联谐振工频电压试验设备。通常在设备设计时,谐振品质因数 Q 一般为40~80,电源额定容量30~60 kVA,可提供的试验额定容量在1200 kVA以上。串联谐振电压试验设备具有以下优点:1)对电源容量的要求仅为额定输出容量的 $1/Q$;2)试样击穿时会有过电压、过电流发生,即失谐,不需使用保护电阻;3)工频正弦波谐振时,由于谐波频率与谐振频率不一致,谐波在串联谐振回路中不产生谐振,因此,回路对谐波具有阻塞作用,输出电压正弦波波形较好;4)多极运行很方便,串联时电压分布均匀;5)试样击穿时痕迹很小,可供分析研究。

(中期)和损耗故障期(晚期)三个阶段。

4 结束语

在实际操作层面,提供以下几点建议:

(1) 依据此次样品的检查中发现的问题(如电缆外护套损伤、绝缘典型缺陷等),采取应对措施,延长电缆的使用寿命。

(2) 运行电缆的绝缘系统处于多因子老化的动态过程中,各种缺陷不断发展和暴露。因此,在运行决策时,需要充分考虑状态评估中反映出的本征/非本征缺陷对线路运行可靠性的影响程度。

(3) 研究敷设运行方式对电缆温升的影响,分析电缆绝缘运行温度与电气绝缘强度的关系,对温升较大的部位,研究如何控制其温升。

(4) 应综合评估外部因素的影响,如电缆线路的敷设条件、线路负载、运行年限等因素,甄别各线路的具体情况,予以区别对待。按照要求进行预防性试验,并以此为手段找出线路的薄弱点,及时加以修复。

其在长、短样电缆的试验中均适用,但造价高于变压器式,调压过程需调谐后才能升压,过程较复杂,且被测电缆电容量与电抗不匹配时无法调谐,测量无法进行,因此,串联谐振电压设备更多使用于长电缆试样。

4 结束语

由于检验机构在电缆检验中主要进行短段试样的型式试验,且受试验室场地的局限,通常很少配备长电缆试样搬运安装所需的龙门吊、叉车等设备,因此,检验机构适合选择价格较低的变压器式工频电压试验设备。电缆生产企业更多的是进行成圈电缆的出厂例行试验,因此应选择串联谐振电压试验设备。

参考文献:

- [1] GB 12706—2008 额定电压1 kV到35 kV挤包绝缘电力电缆及附件[S].
- [2] GB/T 3048—2007 电线电缆电性能试验方法[S].