

# 超低频试验对于电缆耐压的应用现状

## Application Status of Ultra-low Frequency Test for Cable Withstand Voltage

黄雪斌

Xuebin Huang

国家电投集团江西电力工程有限公司贵溪分公司 中国·江西 贵溪 335400

State Power Investment Corporation Jiangxi Electric Power Engineering Co., Ltd. Guixi Branch, Guixi, Jiangxi, 335400, China

**摘要:** 论文首先通过对超低频试验进行简单的介绍, 然后对交联聚乙烯电缆的几种耐压方法各自的优、缺点进行讨论对比, 最后探讨超低频试验方法在实际应用的探讨。

**Abstract:** Firstly, this paper briefly introduces the ultra-low frequency test, then discusses and compares the advantages and disadvantages of several withstand voltage methods of XLPE cable, and finally discusses the practical application of ultra-low frequency test method.

**关键词:** 超低频; 耐压试验; 交联聚乙烯电缆; 应用

**Keywords:** ultra-low frequency; withstand voltage test; XLPE cable; application

**DOI:** 10.12346/etr.v4i1.5138

## 1 引言

在中国提出的“2030年碳达峰”和“2060年碳中和”的理念下, 各个电力企业纷纷向着无污染的新能源发电方向侧重, 使得全国各地大力开展新能源电站建设。随着一座座新能源电站的建成, 就出现很多新安装的电气设备需要进行完交接试验合格后才可投入运行使用, 因为根据二十五项反措的要求, 为了保证电力系统的安全可靠运行, 必须对电气设备(如电力电缆、变压器等)在产品出厂前、安装铺设后以及使用过程中都要做出一系列的电性能测试, 其中耐压试验是最好检查设备绝缘强度情况的方法。特别是电力电缆的耐压试验最为关键和重要, 一般电缆种类大致分为四种: ①油浸纸绝缘电力电缆; ②塑料绝缘电缆; ③橡胶(皮)绝缘电力电缆; ④自容式充油电缆。交联聚乙烯电缆是目前应用最广泛的电缆, 因此论文主要针对超低频对该电缆的耐压试验进行测试和研究。

## 2 超低频试验介绍

超低频是指频率大幅低于工频交流信号, 频率为0.1Hz范围内的正弦(余弦)信号。其对于日常使用频率为50Hz的工频交流电来说频率大大降低了。使用这种超低频率的交流信号用于电气设备绝缘交流耐压试验的一套装置称为超低频耐压试验装置, 通常也称为0.1Hz耐压试验装置。其主

要分为: ①工频调幅式硅整流型; ②高频调幅式硅整流型; ③0.1Hz超低频余弦方波<sup>[1]</sup>。它主要通过耐压试验的检测方式对设备的绝缘性能进行检测并获取相关数据, 然后试验人员将所获得的数据与设备正常运行所应该具备的标准性能参数对比, 进一步判断设备的绝缘性能是否达标, 即使当时无法立即解决所有问题但可以做好安全预控措施, 确保设备的安全稳定运行。

## 3 与直流泄露耐压、交流耐压试验方法优、缺点对比分析

### 3.1 直流泄露耐压方法

直流泄露耐压试验是通过给试验品施加直流电进行耐压试验的, 并且能通过判断其泄露电流的大小与变化来判断该设备的绝缘性能是否达标。直流耐压设备体积小, 重量轻, 现场使用方便, 能够达到耐压的试验目的, 但是直流耐压对绝缘的考验不如交流电压更接近实际, 直流电压只能反映对漏导损耗产生的缺陷。电缆在制作的过程中通常会混入一些杂质, 导致电缆绝缘层各处的电阻系数都不相同, 而在直流耐压过程中, 电缆绝缘层中的各处的电场强度也存在有强有弱的情况, 这种情况将导致电缆绝缘层被击穿的特性不同, 无法真正检验出电缆的绝缘性能。因为空间电荷, 使得经常出现电缆在直流耐压通过后, 正常投运一段时间内便被击穿

【作者简介】黄雪斌(1991-), 男, 中国江西南昌人, 从事电气自动化研究。

的现场,对于人身及设备的安全遗留了一个很大的隐患。

### 3.2 交流耐压方法(变频串联谐振试验法、工频交流试验法)

工频交流耐压是指通过给试验品施加在运行过程中可能遭遇到的高于其自身额定电压的高电压。并通过持续一段时间的过电压来判断试验品的绝缘性能是否达标。工频交流耐压是判断设备的绝缘是否能承受各种过电压最有效的方法,但是伴随着国家大力发展新能源发电站的趋势下,野外使用的电缆都非常长,容量非常大,这就要求工频交流耐压试验设备须具备相当大的容量与重量,并且装置电源也需要大容量且稳定,而在实际运用中不但使用起来很不方便,而且野外很难提供稳定的电源,导致试验装置成本高、安全系数低且不利于运输。结果表明,工频耐压试验不适合现场试验。

变频串联谐振测试方法的测试电路主要由高压串联谐振主电路和变频稳压电路两部分组成。其工作原理是高压串联谐振主电路由电抗器和测试电缆组成,通过混频器调节励磁变压器的电压频率,使主电路达到谐振状态,发生谐振时电路的优点是电源的励磁功率仅为电缆功率容量的 $1/q$ ,测试电压 $q \times$ 测试电缆的励磁电压,其 $q$ 系数在 $30 \sim 50$ ,测试装置的要求大大降低,减小了测试装置的体积和重量,更适合现场测试<sup>[2]</sup>。一般变频串联谐振试验装置由调频调压操作台、电抗器组励磁变压器、电容分压器组以及两种装置电源共五大部分组成。这也导致其在野外试验时步骤烦琐、接线复杂、电源要求高,对于野外超长电缆还是显得容量不够。

### 3.3 超低频试验方法

优点主要体现为超低频试验装置输出电压波形为频率 $0.1\text{Hz}$ 范围内的正弦(余弦)信号。低频下电缆的容性电流降低,在交流电压条件下采用超低频试验可以减少试验设备的体积和重量,在同等条件下,理论上电缆试验所需的电源功率要降低 $500$ 倍,操作简单且电流、电压数据均直接通过高压侧采样获得,所以数据真实、准确,还具有过压保护和过流保护功能。例如,当输出超过所设定的限压值时,仪器将停机保护,动作时间小于 $20\text{ms}$ 、设计为高低压双重保护,高压侧可按设定值进行停机保护;低压侧采集到的电流超过仪器额定电流后,仪器将立马进行断电报警,以保护人身和设备的安全。近期国家大力发展新能源发电站,如光伏、风电等该装置非常适合户外现场使用,可以大大减少人力与时间成本,极大提高工作效率。但目前主要用于 $35\text{kV}$ 及以下电缆的试验,不能用于 $110\text{kV}$ 及以上高压电缆的试验,存在一定的局限性。

## 4 超低频试验方法在实际中的运用及注意事项

Gb 50150—2016《电气安装工程电气设备交接试验标准》17.1明确规定:当额定电压 $U_0/U$ 为 $18/30\text{kV}$ 或以下电缆,当无法使用普通耐压试验方法时,允许使用有效值为 $3U_0$ 、频率为 $0.1\text{Hz}$ 的电压持续施压 $15\text{min}$ 代替交流耐压试验。这给超低频试验方法在实际运用提供了依据。然而,由于电缆是

一个电容性负载,在耐压测试过程中产生的电流是一个电容性电流,因此当特低频装置用于电缆的耐压测试时,电缆中产生的电容性电流会产生一定量的电阻电压降,电容上升效应导致测试电缆所施加的电压高于仪器显示的电压。随着试验电缆的长度增长、容量变大,将使得容升效应更加厉害。因此,测试人员在进行长距离大容量电缆耐压试验时,必须测量电缆末端的试验电压值,在试验过程中必须仔细观察电缆末端的测量电压值,避免试验电缆承受过高的电压而造成损坏。在试验过程中要特别注意试验回路串联谐振引起的过电压损坏试验电缆的绝缘,通常我们在试验电缆侧串联一个适当容量的阻尼电阻来解决这个问题。交流耐压是检测电缆缺陷的最好方法,对电缆绝缘的损害最小<sup>[3]</sup>。然而,由于容量问题,测试设备非常大,很难在现场进行交流耐压试验。为了减轻测试设备的重量,通过分析,发现只有工频 $f$ 。理论上,其容量可以比工频交流耐压试验装置低 $500$ 倍(不包括设备结构等其他因素,实际容量可以降低 $50 \sim 100$ 倍)<sup>[4]</sup>,因此,特低频交流耐压试验设备远比工频交流耐压试验设备便携。与直流耐压相比,只能反映缺陷引起的泄漏电流的突变,而且在电缆缺陷部分未被击穿的情况下还能投入正常运行一段时间,这是十分危险的。超低频交流耐压试验有能力使极化电荷在耐压试验过程中不能穿透绝缘层,以防止试验电缆造成二次损坏和产生新的故障点,超低频耐压试验方法适用于正常运行的高压设备,特别是绝缘已开始恶化的高压设备,这虽然是不好的趋势,但其仍能投入正常运行的电气高压设备,采用超低频耐压试验方法进行耐压试验不会有任何冲击。

## 5 结语

目前中国新能源电站建设、特高压建设工作进行得如火如荼,随着各种设施的不断建设,出现很多需要进行交接试验的电气设备,在这种大的趋势下就必然诞生一种安全、轻便、有效的耐压试验方法来完成其中电缆的耐压试验方法。而原来常用的变频谐振试验法、工频交流试验法和直流泄露耐压方法已经很难满足当前形势下对于电缆的耐压试验需求,超低频耐压试验方法便孕育而生。超低频耐压试验克服了直流耐压和工频耐压在野外试验中的各种不足,而且使用也非常安全、准确、方便,值得在中国广泛推广运用。

## 参考文献

- [1] 赵建刚,侯建设.0.1Hz超低频试验在交联电缆中的应用[J].高压技术,2004(S1):81-82.
- [2] 屈明.交联聚乙烯电缆绝缘状态试验技术综述[J].电子世界,2018(21):88.
- [3] 许雪云.超低频高压发生器绝缘耐压试验的应用[J].科技与企业,2012(11):331.
- [4] 孙亮明.1Hz超低频交流耐压试验方法[J].工程建设与设计,2009(11):79.