

电压对介损测试仪测试数据的影响探讨

陈 释¹, 曾燕波²

(1. 四川中鼎科技有限公司, 四川 成都 610045; 2. 国家电网四川省德阳供电公司, 四川 德阳 618000)

摘要: 外界环境、被试品的绝缘状况等因素将使介损测试仪不能在额定电压下对试品进行介损测试, 因此, 需要对不同电压下的介损测试数据进行分析。对介损测试的意义、介质损耗的含义、测试原理等进行了阐述, 通过对多个介损测试仪在不同电压等级下进行试验的过程进行分析后发现测试电压不会对介损测试仪的测试结果产生影响, 说明在干扰较小的情况下, 使用介损测试仪测试介损时, 采用较低的测试电压仍可得到比较准确的测试结果。将试验数据与理论分析进行了比较, 说明并验证了试验结果与理论分析的一致性。

关键词: 电压; 介损; $\text{tg}\delta$; 测试数据; 影响

中图分类号: TM93; TM92

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2015)增1-0105-04

1 概述

电介质在交变电场作用下具有两种介电行为: (1) 对于由纯电容元件构成的理想电介质, 其电位移与电场强度在时间上没有相位差, 此时极化强度与交变电场同相位, 交流电流刚好超前电压 $\pi/2$; (2) 对于由电容元件和电阻元件构成的实际电介质, 在交流电压作用下要产生损耗 (包括电导损耗、极化损耗、电离损耗等), 此时流过电介质的交流电流超前电压的相角小于 $\pi/2$ 。因此将介质损耗角定义为 $\pi/2$ 与流过电介质的交流电流超前电压的相角之差, 即介质损耗角是在交变电场下电介质内流过的电流向量和电压向量之间的夹角 (即功率向量角 φ) 的余角 δ 简称为介损角, 其正切值 $\text{tg}\delta$ 即为介质损耗角正切值, 又称介质损耗因数或介损。

介损取决于材料的特性, 与材料尺寸无关。介损的变化可反映绝缘体受潮、劣化变质或气体放电等绝缘缺陷, 发现电力设备绝缘整体受潮、劣化变质以及小体积被试设备贯通和未贯通的局部缺陷, 其在电工制造及电力设备交接和预防性试验中都得到了广泛应用。在 DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》、GB 50150—91《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》等标准中明确规定了电气设备在现场交接验收或定期预防性试验时必须测试其 $\text{tg}\delta$ 值^[1]。由于高压设备损坏事故中的很大部分是因电气设备绝缘受潮或绝缘

老化引起的, 故测试电气设备中的 $\text{tg}\delta$ 以发现其是否存在绝缘受潮或绝缘老化等缺陷具有重要意义。

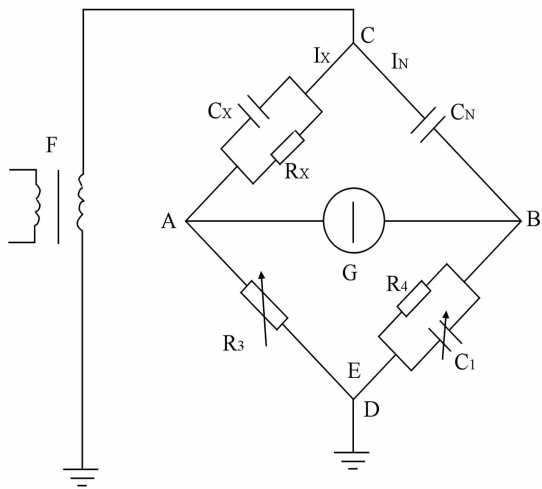
2 研究现状

在《高压电力设备预防性试验规程》中要求对 $\text{tg}\delta$ 的测试需在 10 kV 电压下进行。但由于工程现场的复杂条件、天气及设备自身状况、工程进度等多种因素影响, 可能要求在低于 10 kV 的电压下进行介损测试, 因此, 需要研究介损测试值在不同电压下的关系。在介损测试中, 影响其测试结果的因素较多, 一些研究人员就不同因素对介损测试结果的影响进行了试验与分析。刘洪鑫^[2] 等对电流互感器进行了现场介损检测, 试验并分析了不同相序对测试结果的影响, 指出在现场测试时采用换相序、倒相的方法测试高电压设备的介损更为方便、准确; 黎志强^[3] 对介损进行现场测试的套管注意事项进行了说明, 指出应将瓷套管表面及末屏套管表面擦拭干净, 且宜选择在天气干燥的条件下进行; 湿度较大时, 宜采用屏蔽法消除现场干扰和表面泄漏的影响, 以减少测试误差; 黄敏^[4] 指出: 对于良好绝缘的设备, 在允许的电压范围内, 无论电压上升与下降, 其 $\text{tg}\delta$ 均无明显变化。综上所述, 虽然研究人员对介损进行了多项研究, 但测试电压对介损值的影响如何数据较少, 仍需进一步试验与分析, 以便得到更加准确的介损测试值。鉴于此, 笔者对实验室条件下测试电压对介损的影响进行了探讨, 旨在为介

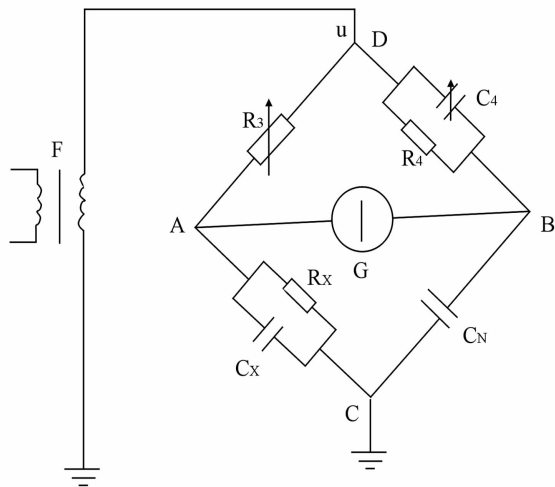
损试验提供参考。

3 试验原理与过程

3.1 试验原理



(a) 正接线



(b) 反接线

G——检流计; R_x 、 C_x ——试品电阻、电容; C_N ——标准电容; R_3 ——无感可调电阻; C_4 ——可调电容; R_4 ——无感固定电阻

图 1 西林电桥原理接线图

当电桥平衡时,检流计 G 内无电流通过,此时 A、B 两点之间无电位差,则有:

$$U_{CA}/U_{AD} = U_{CB}/U_{BD} \quad (1)$$

式中 U_{CA} 为 C、A 两点间的电压,其它同理。在桥臂 CA 和 AD 中通过相同的电流 I_x ,在桥臂 CB 和 BD 中通过相同的电流 I_N ,则有:

$$U_{CA} = I_x Z_x, U_{AD} = I_x Z_3, U_{CB} = I_N Z_N, U_{BD} = I_N Z_4 \quad (2)$$

式中 Z_x 为 C_x 和 R_x 并联后的阻抗; Z_4 为 C_4 和 R_4 并联后的阻抗。

将式(2)代入式(1)中,有:

$$Z_x/Z_3 = Z_N/Z_4 \quad (3)$$

$$\text{其中: } Z_x = \frac{1}{1/R_x + j\omega C_x}, Z_N = \frac{1}{j\omega C_N}, Z_3 = R_3, Z_4 = \frac{1}{1/R_4 + j\omega C_4}.$$

将各值代入式(3)中,并令等式左右实部、虚部分别相等,可得:

$$\text{tg}\delta = \frac{1}{\omega C_x R_x} = \omega C_4 R_4, C_x = C_N \frac{R_4}{R_3} \frac{1}{1 + \text{tg}^2 \delta} \approx$$

$$\frac{C_N R_4}{R_3} \quad (\text{因为 } \text{tg}\delta \ll 1) \quad (4)$$

在工频交流下, $\omega = 2\pi f = 100\pi$ 。取 $R_4 = 10\,000/\pi \Omega$,代入式(4)得 $\text{tg}\delta = C_4 \times 10^6$ (C_4 以法

拉计);若 C_4 的电容以微法为计量单位,则 $\text{tg}\delta = C_4$ 。

测试 $\text{tg}\delta$ 时分为正接法和反接法两种方法。正接法主要用于对不接地试品的测试;反接法主要用于对接地试品的测试。

3.2 试验方法

在被测试品两端施加一电压,使试品上流过一个电流,利用电压与电流之间夹角的余角 δ 的正切值 $\text{tg}\delta$ 反映试品的介损大小。当试品发生受潮、老化等情况时将引起其电阻 R 或电容 C 发生变化,从而引起介质损耗角 δ 发生变化,使得 $\text{tg}\delta$ 发生变化。

3.3 试验步骤

- (1) 按图 1 所示实施接线;
- (2) 对介损测试仪进行参数设置;
- (3) 升压,进行介损测试;
- (4) 改变电压,得到不同测试电压下的介损值。

4 电压对介损测试仪测试数据的影响分析

在实验室对编号分别为 1[#] 和 2[#] 的介损测试仪进行测试,介损测试仪的误差范围分别为:(1) 介损 $\text{tg}\delta$: $\pm(1\% D + 0.0005)$ (正), $\pm(1\% D + 0.001)$ (反);(2) 电容 C_x : $\pm(1\% D + 1\text{pF})$ 。试验

通过改变标准介损值(标准电容值保持不变,为 表1、2。

101.2pF)所得到的正接线和反接线试验数据见

从表1和表2中可以看出:无论是正接线还

表1 正接线时不同电压等级下测得的介损和电容值表

项目		标准介损值 / %									
		0.1		0.5		1		5		10	
		介损测试仪编号									
		1#	2#	1#	2#	1#	2#	1#	2#	1#	2#
1 kV	测得介损值 / %	0.12	0.11	0.51	0.5	1.04	1.03	5.02	5.01	9.99	9.99
	测得电容值 / pF	101.1	101.4	101.2	101.4	101.2	101.4	101.2	101.4	101.1	101.5
3 kV	测得介损值 / %	0.11	0.11	0.5	0.52	1.03	1.04	5	5.02	9.98	10
	测得电容值 / pF	101.2	101.4	101.2	101.4	101.2	101.5	101.2	101.5	101.2	101.4
5 kV	测得介损值 / %	0.12	0.1	0.52	0.51	1.04	1.04	5.02	5.01	10.01	10.01
	测得电容值 / pF	101.2	101.3	101.2	101.5	101.2	101.4	101.2	101.4	101.1	101.4
8 kV	测得介损值 / %	0.12	0.11	0.52	0.51	1.04	1.03	5.01	5.02	9.99	10
	测得电容值 / pF	101.2	101.4	101.2	101.5	101.2	101.5	101.2	101.5	101.1	101.5
10 kV	测得介损值 / %	0.12	0.11	0.51	0.51	1.04	1.04	5.02	5.01	10	9.99
	测得电容值 / pF	101.2	101.4	101.2	101.5	101.2	101.5	101.2	101.5	101.1	101.5

表2 反接线时不同电压等级下测得的介损和电容值

项目		标准介损值 / %									
		0.1		0.5		1		5		10	
		介损测试仪编号									
		1#	2#	1#	2#	1#	2#	1#	2#	1#	2#
1 kV	测得介损值 / %	0.11	0.1	0.52	0.51	1.04	1.04	5	4.99	9.97	9.98
	测得电容值 / pF	101.5	101.6	101.4	101.6	101.5	101.7	101.4	101.7	101.4	101.7
3 kV	测得介损值 / %	0.1	0.11	0.51	0.52	1.04	1.04	4.99	5	9.96	9.97
	测得电容值 / pF	101.6	101.7	101.5	101.7	101.5	101.7	101.4	101.7	101.4	101.7
5 kV	测得介损值 / %	0.11	0.11	0.52	0.51	1.04	1.03	5	5	9.97	9.98
	测得电容值 / pF	101.5	101.7	101.4	101.6	101.5	101.6	101.4	101.6	101.4	101.6
8 kV	测得介损值 / %	0.11	0.11	0.51	0.51	1.04	1.03	5	5.01	9.97	9.97
	测得电容值 / pF	101.5	101.7	101.4	101.6	101.5	101.6	101.4	101.6	101.4	101.6
10 kV	测得介损值 / %	0.11	0.11	0.52	0.51	1.04	1.03	5.01	4.99	9.96	9.96
	测得电容值 / pF	101.5	101.7	101.4	101.6	101.5	101.7	101.4	101.6	101.4	101.6

是反接线,1#和2#介损测试仪的测试结果均在误差范围内,说明这两个介损测试仪状态正常;不同测试电压下测得的试验数据几乎不发生变化,说明测试电压不会影响介损测试仪的测试结果。由前述测试原理的理论表达式可知:介损和电容量只是电容、电阻的函数,与所施加的测试电压无关。

4 结语

笔者在实验室条件下对多个介损测试仪在1 kV、3 kV、5 kV、8 kV、10 kV电压下分别进行了试验,发现测试电压不会对介损测试仪的介损值和

电容量值产生影响,因此可知,实验条件下测试介损时采用低电压仍然可以得到较准确的结果,从而提高了对高压设备测试的灵活性和方便性。但在电磁干扰严重的情况下,为了提高信噪比,笔者建议尽量采用较高的电压进行测试。鉴于笔者水平、实验条件及实验设备数量的限制,本文仅供参考,不足之处,请予以指正。

参考文献:

- [1] 黄冰. 高压介质损耗测量的研究[J]. 江苏电机工程, 2008,27(5):56-59.
- [2] 刘洪鑫,吴锦华. 电流互感器的现场高电压介损测量[J]. 高电压技术,2001,27(5):78,80.

- [3] 黎志强. 主变套管介损异常的应用及其处理方法研究[J]. 中国高新技术企业. 2014, 21(34): 74-75.
- [4] 黄 敏. 电容型电流互感器现场高压测介损试验方法探讨[J]. 上海电力. 2008, 21(4): 406-409.
- [5] 赵 沛, 张源斌. 介质损耗的数字化测量方法[J]. 高压电器, 2004, 40(1): 45-47.

作者简介:

陈 释(1985-), 女, 四川成都人, 助理工程师, 硕士, 从事水电站高压电器设备试验工作;
曾燕波(1971-), 女, 四川开江人, 工程师, 从事电力系统电能计量工作.

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 98 页)

的安全裕度。最重要的是:该方案并没有非常薄弱的环节。相比而言,只在主变和出线上安装避雷器的方案会使 GIS 和主变的安全裕度较低;只在主变和 GIS 上安装避雷器的方案则会使出线处过电压较高。

(5)如果只用一组 GIS 上的避雷器,虽然雷电过电压仍在设备耐受值范围内,但其相对的安全系数较小且出线过电压很高,故不宜采用。

参考文献:

- [1] 水电站机电设计手册编写组. 水电站机电设计手册 电气一次[M]. 北京:水利电力出版社, 1982.

- [2] 水力发电厂过电压保护和绝缘配合, DL/T 5090-1999 [S].

- [3] 杜 林, 戴 斌, 司马文霞. 架空输电线路雷电过电压识别[J]. 高压技术, 2010, 36(3): 590-597.

作者简介:

陈丹燕(1981-), 女, 湖北鄂州人, 工程师, 硕士, 从事水电站电气一次设计工作;
王 勇(1963-), 男, 安徽灵璧人, 副总工程师, 教授级高级工程师, 硕士, 从事水电站电气设计工作;
刘 涛(1964-), 男, 四川威远人, 分院副总工程师, 高级工程师, 学士, 从事水电站电气设计工作.

(责任编辑:李燕辉)

国内第一高坝——两河口水电站大坝工程举行签字仪式

4月25日,中国电建集团中标的国内第一高坝——两河口水电站大坝及引水发电系统工程施工合同签字仪式在成都举行。雅砻江流域水电开发有限公司董事长、党委书记陈云华;电建集团董事长晏志勇出席仪式并作重要讲话。中水五局公司总经理贺鹏程、水电十二局总经理孙阳代表12·5联合体,水电十四局总经理洪坤,水电十六局总经理林文进代表14·16联合体分别与雅砻江流域水电开发有限公司董事长、党委书记陈云华在大坝工程标施工合同及引水发电系统工程标施工合同上签字。两河口水电站大坝及引水发电系统工程标由中水五局公司与十二局组成的12·5联合体中标,由十四局和十六局组成的14·16联合体中标引水发电系统。雅砻江两河口水电站大坝工程为砾石土心墙堆石坝,最大坝高295米,是目前中国已建或在建的第一高土石坝。晏志勇作重要讲话。他说,中国电建与雅砻江水电开发公司的合作由来已久,在二滩水电站、锦屏一级、二级水电站的工程建设中,双方建立了良好的相互信任关系,缔结了深厚的友谊。两河口水电站是目前国内藏区最大规模的水电项目,这次中标雅砻江两河口水电站大坝工程和引水发电系统工程,我们倍感自豪与荣光,这是雅砻江流域水电开发有限公司对中国电建品牌与实力的充分肯定。他要求,各参加单位切实履行央企责任,不辱使命,不负重托,迅速组建精干高效的项目管理团队,坚持高标准、严要求,坚决服从业主和监理的管理,全面兑现诚信履约承诺。晏志勇表示,中国电建作为各参建单位的坚强后盾,将举集团之全力投入到两河口水电站工程建设中去,将两河口水电站打造为优质工程、示范工程。出席签字仪式的领导还有四川省投资集团有限公司副总经理李文志,雅砻江水电开发有限公司总经理祁宁春以及中国电建集团公司总经理助理兼市场经营部主任张健文、成都院、西北院、水电五局、水电十四局、水电十六局的主要领导。两河口水电站位于四川省甘孜藏族自治州雅江县境内,为雅砻江中游“龙头”梯级水库电站。据了解,在雅砻江干流中游规划建设7座梯级电站中,两河口水电站装机规模最大,总装机容量达300万千瓦,总库容107.67亿立方米,具有多年调节能力,设计多年平均年发电量为110亿千瓦时,电站总投资达664亿元。枢纽建筑物由砾石土心墙堆石坝、溢洪道、泄洪洞、放空洞、发电厂房、引水及尾水建筑物等组成。两河口大坝采用当地材料建设,坝高295米,是目前中国已建或在建的第一高土石坝、全球第二高土石坝。坝体总填筑量达4160万立方米,相当于6个“鸟巢”的体积。两河口电站计划于2021年底首台机组发电,2023年底工程竣工。其开发建设对整个雅砻江梯级电站的开发影响巨大。电站建设除发电外,还具有蓄水蓄能、改善长江航道枯水期航运条件的功能,对提高长江三峡、葛洲坝的发电质量、减轻长江中下游地区的防洪负担也具有突出的作用,其经济效益十分显著。