

矩,从起动到额定转速平稳运行是可能的,无需任何专门起动装置。

(4) 转速调节设备重量轻、尺寸小和价格低廉。

(5) 在高速运行下的特性与一台传统的笼型电动机是一样的。

(6) 预期可应用到各种负载。

参 考 文 献

1 Shepherd W and Hulley L N. Power Electronics and Motor Control. Cambridge University Press, 1987.

2 Ramshaw R S. Power Electronics Thyristor Controlled Power for Electric Motors. CHAPMAN and HALL, 1979.

杜程德 译自《IEEE Trans. Energy Conversion》, 1990, Vol 5, №2, PP.380~385 郑时刚 校

高压电机对地绝缘整体性的检测

(苏) А. И. Хазанов

摘 要

本文介绍了额定电压达24kV(包括24kV)的大型发电机绝缘整体性检测方面所进行的研究和生产试验的结果。

主题词

高压电机 对地绝缘 检测

在绝缘壁内或在绝缘与线棒导电部分之间形成气隙,就可认为电机对地绝缘的整体性被破坏。

绝缘结构的这些缺陷,特别是在导电部分与绝缘之间形成气泡(绝缘脱壳)会因放电现象和振动现象的形成而大大降低绕组的可靠性和寿命,因为这些现象会使线棒的导电股线束和对地绝缘本身遭到损坏^[1]。因此,不仅在制造阶段,而且在运行过程中对高压绝缘的整体性进行检测具有用高压作传统试验那样的重大意义。近几年,许多制造厂家都在进行这种系统检测^[2]。

本文就对制造额定电压达24kV(包括24kV)的大型发电机绝缘整体性检测方面所进行的研究和生产试验的结果作一介绍。

下面检测绝缘整体性的3种方法是大家熟知的:声学检测;绝缘中电流幅值和相位随试验电压升高而变化的检测方法^[3];测量局部放电的强度^[4]。

声学检测具有较高的灵敏度,它能确定缺

陷的大小和类型,但是,由于劳动量大,它难于在批量生产中采用。

所述方法中第二个方法是在增大试验电压情况下,测量介质损耗增量(测量 $\Delta tg\delta$)应用得最广泛,因为它易于实现标准化^[5]。这种方法的缺点也是劳动量较大,因为每个产品的试验都需要对电极加以保护。此外,采用这种方法,由于确定被试产品的电流相位和幅值随时间变化的放电过程的不稳定性,所以所要求的测量精度在许多情况下都难以达到。

对大批量检测来说,测量绝缘中的局部放电特性是最方便的一种方法。近几年,列宁格勒《电力》电机制造联合公司创造了并广泛地应用基于这种原理的绝缘整体性检测方法。

图1所示的测量原理图能在带高压电的情况下轮流接通被试线棒,从而能简化检测过程。在测量回路($C_0 - CN - L_0$)中,局部放电常产生频率为200~300kHz的衰减振荡脉冲,这种频率与试件的电容关系很小。测量脉冲常采用标准仪表——B4-3型峰值伏特计V。

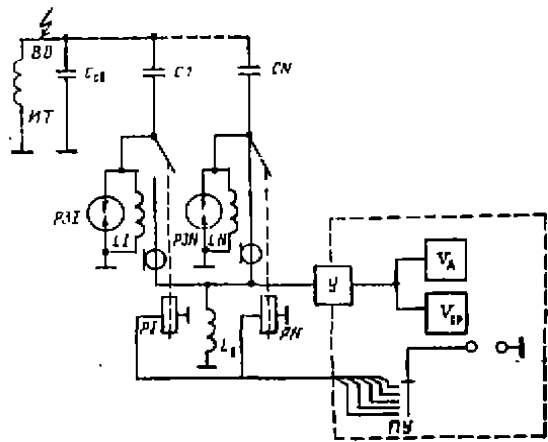


图1 测量局部放电强度的原理图

B.O. HT——脉冲变压器的高压绕组
 Cca——耦合电容器 Cca=1.5mF
 C1-CN——被试件 L1-LN=20mH——接地电感
 Lc=0.1~0.2mH——测量回路电感
 P3I-P3N——保护放电球
 PI-PN——控制继电器 Y——控制台
 Y——匹配装置和控制装置

和Φ505型中值电压伏特计V_{ce}。专门研究证实了后一种伏特计对空隙系数、固有频率和衰减系数变化范围较广的衰减振荡脉冲之平均值的测量适用性。所采用的局部放电测量法与标准相符合〔4〕，并具有较高的抗干扰能力〔3〕。

选最大幅值Q_m和平均电流I_{cp}作为被测的参数。这些参数和所测最大电压与平均电压之间的比值按文献〔4〕的分度法确定。

分析局部放电测量结果时遇到的主要问题是确定缺陷型式——局部放电源。实际上有3种型式的放电源：

由于在绝缘压制阶段气体杂质未充分排除而形成的微气隙（图2a）；

与导电极紧贴的部分绝缘粘结面脱开分层（图2b）；

对地绝缘分层或与导电股线束脱壳（图

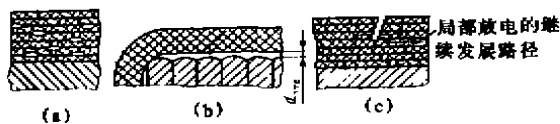


图2 缺陷型式

a——分布的微气隙 b——对地绝缘脱壳
 c——部分绝缘层断裂

2c)，是缺陷的最大扩展形式。

根据试验电压测量局部放电参数Q_m和I_{cp}能很可靠地鉴别缺陷的型式（图3）。

在有微气隙的情况下，如将试验电压增大到局部放电的起始电压的水平U_{H.P}（对这种型式的缺陷来说，它通常大大超过了工作电压

值U₀= $\frac{U_{H.P}}{\sqrt{3}}$ ），则会使Q_m和I_{cp}急剧增加，

而且这两个放电强度参数的增大速度会大大地高于所对应的（图3曲线1、2）线性规律的速度。应当指出，虽然微气隙中的局部放电，在工作电压下不会引起绝缘的破坏，但是，在试验电压下，它会促使产生内部纵向（沿绝缘层间表面*）放电。正如研究表明，微气隙的存在对有损伤的云母绝缘壁区段特别危险。

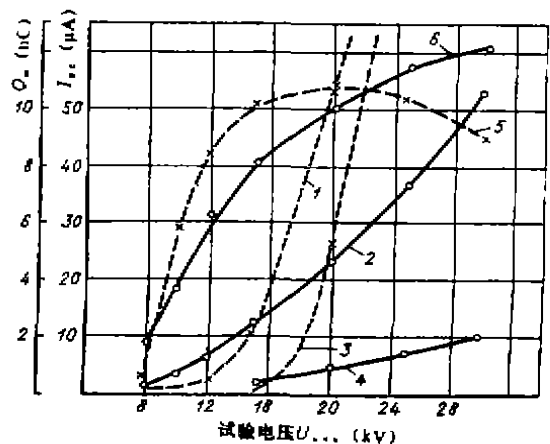


图3 局部放电强度与试验电压的关系

1、2.分散微气隙状况下
 3、4.部分绝缘层断裂状况下
 5、6.对地绝缘脱壳状况下
—Q_m ———I_{cp}

绝缘层部分断裂情况下发生的局部放电，在其他放电共同作用的背景下，是很难发现的。但是，在许多情况下，这种缺陷常导致内部纵向放电的发展（图2b），其特点与表面放电的特点相似，即在放电平均电流值较小的情况下，Q_m值也较大（图3曲线3、4）〔5〕。

对地绝缘“脱壳”和“分层”就是有较大面积的气隙（几十和几百平方厘米）。脱壳的深度d_{orc}（图2b）在0.05~0.25mm范围内。

这些值 d_{0TC} 既可从根据电压 $U_{H,P}$ 数据的计算中得出,也可从在切断线棒断面上直接测量结果中得出。脱壳的特点是起始放电电压 $U_{H,P}$ 值较小,即 $U_{H,P} = (0.4 \sim 0.5) U_0$, 同时在 Q_0 和 $I_{c,p}$ 与试验电压的关系上变得很异常(图3曲线5、6)。首先,根据大量的测量数据, Q_0 值常达到 $30 \sim 50 \text{ nC}$, 这比含气泡达 0.3 mm 所预料值 Q_0 要大好几个数量级^[6,7]。其次,随着电压的增大, Q_0 会有些下降,而 $I_{c,p}$ 的增加比按线性规律的要慢,这与个别缺陷的理论计算是不相符的^[3]。应当指出,当最大电压 $U_{Hc,n}$ 经 $1 \sim 5 \text{ min}$ 后, Q_0 值还会随时间稳步地增大。

为了查明上述异常现象的原因和确定绝缘脱壳处局部放电的最佳测量条件,曾进行了一些专门研究。首先指出,当 $U_{Hc,n}$ 增大时, Q_0 的减小和 $I_{c,p}$ 增长的延缓与测量电路中的脉冲叠加无关。在大范围内的局部放电,直到脉冲转变为非周期性的局部放电,所激发的脉冲参数的测量,不会改变 Q_0 和 $I_{c,p}$ 与 $U_{Hc,n}$ 的关系特性。其次是,对试验电压曲线上的局部放电脉冲的示波检测表明,一些单个放电幅值由于 $U_{Hc,n}$ 瞬时值的增大而明显减小,而且,这种效应比 $U_{Hc,n}$ 的幅值要明显得多。同时,用非脉冲法测量电离电流,即用西林电桥测量电容(图4曲线1)和能量(曲线2)没有出现任何异常现象。很明显,产生所研究的局部放电

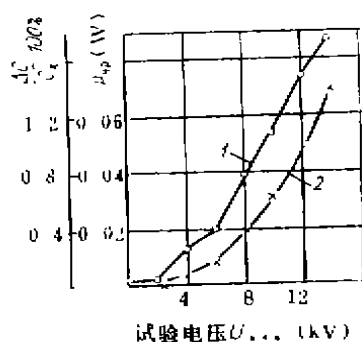


图4 对地绝缘脱壳情况下电离特性(电容 $\Delta C/C_x$ 和损耗 $P_{...}$) 与试验电压的关系

*译者注(见52页)

形状的必要条件是多气隙之一的表面有较高的电导。

所得数据能推断出如下绝缘脱壳气隙内的局部放电的机理。由于脱壳间隙厚度均匀(图2c)和气隙一个表面的电导较高,电场强度在大部分气泡面积上同时达到击穿值或接近于击穿值,而且在某一点上所产生的局部放电在气泡内按光电离机理“瞬时”扩展。这就解释了所记录的 Q_0 幅值较高。在提高 $U_{Hc,n}$ 和因此而减小放电间隔的情况下,由气隙表面上的残余放电引起的电场畸变将使被“同时”放电包围的面积减小和出现“准稳态”(无脉冲的)放电形状。文献[3、7]指出了在扁平气泡中可能出现这种电离过程形式。所采用的测量局部放电平均电流的脉冲谱图不能理解为“准稳态”电流,因为它与 $U_{Hc,n}$ 有关,是在 $I_{c,p}$ 的增大速度减小(与预期线性规律相比而言)时出现的。显然^[12]气隙壁的情况在放电过程中起着重要作用,因此,在空气中出现放电产物,特别是氮氧化物,会促使气隙表面形成半导体沉积物,决定性地改变局部放电强度的参数。

从所研究的有关各种类型缺陷的局部放电的性质和特征的概念出发,采用下列批量检测绝缘整体性的方法:

1. 在两个电压等级下测量最大幅值 Q_0 , 即在 $U_{Hc,n1} = 1.1 U_H / \sqrt{3}$ 时,它等于最大工作电压和超过绝缘脱壳处的起始放电电压 $0.5 \sim 1$ 倍(在此电压下,能保证局部放电以最小概率过渡到准稳态形状时,在整个脱壳面积上都存在局部放电); $U_{Hc,n2} = (1.5 \sim 1.7) U_H$ ——供查明未浸透和绝缘局部损坏等型式的缺陷用。

2. 当发现绝缘脱壳时,这是在两种试验电压下,按高于正常的 Q_0 值判断的,便可在 $U_{Hc,n1}$ 下测量平均电流 $I_{c,p}$, 以便评估脱壳的尺寸(长度)。

根据500多次测量结果的相关分析表明,脱壳长度(l_0)与局部放电平均电流的关系符合线性规律。

$$l_0 = aI_{c0}$$

式中, a 是比例常数; 它对所有类型的线棒都大致相同; 当 $U_{нсл} = U_{всл}$ 时, $a = 3.37 \text{ cm}/\mu\text{A}$ 。在这种电压下, 相关系数最大可达到 $r = 0.8$ 。

3. 评定线棒日后使用的适用性。为此, 应根据 I_{c0} 确定脱壳长度 l_0 , 并根据电机的型号不同可采用下列方案:

在氢冷汽轮发电机中, 在氢气的工作压力下和在工作(相)电压下不会产生脱壳处的局部放电。因此, 检测绝缘整体性的目的是为了

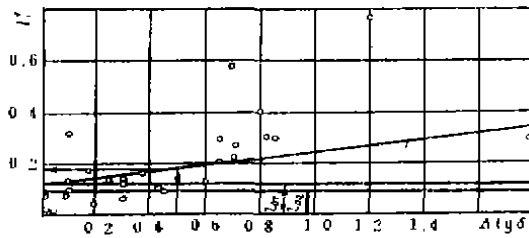


图5 脱壳层的相对尺寸 l_0' 与 $\text{tg}\delta$ 的变化关系 (其相关系数 $r = 0.67$)

防止振动损坏。所有长度 l_0 超过共振长 l_{res} 的线棒都应报废, 因为在这种长度下, 编织(换位)线棒的固有振荡频率接近于电力的频率 (100Hz);

在大气常压下运行的发电机中, 所有 $l_0 \geq l_{res}$ 的线棒也应报废, 而把小于 l_0 的线棒下在工作电压 $U_{р.к} < 0.5U_{н}/\sqrt{3}$ 的绕组区内, 因为在这种工作电压下, 脱壳处不可能产生局部放电。

对于水冷大型汽轮发电机 $l_{res} = 0.6\text{m}$, 对于间接冷却水轮发电机 $l_{res} = 0.2\text{m}$ 。

我们将对整体性的上述要求与国际上所采用 $\Delta\text{tg}\delta$ 方面的标准作了比较。图5表明了绝缘脱壳的相对尺寸 $l_0' = \frac{l_0}{l_{CT}}$ 与 $\text{tg}\delta$ 变化的关系。

此处, l_{CT} 为线棒槽部的长度, 并规定了汽轮-水轮发电机各种类型线棒的报废标准。根据文献[8], 所有 $\Delta\text{tg}\delta$ 值大于 0.5 的线棒都将报废, 而根据所采用的标准, 检查等级能保证选出 l_0' 大于汽轮发电机 l_{01}' 和水轮发电机 l_{02}' 的全

部线棒(图5)。因此, 我们所采用的标准能保证在线棒绝缘气隙尺寸比按文献[2、8]推荐的标准等级报废线棒时的气隙尺寸要小得多的情况下报废线棒。

参考文献

1 Кулаковский В.Б. Работа изоляции в генераторах. М.: Энергоатомиздат, 1981.

2 Evaluation of the Quality of the Insulation of High Voltage Large Rotating Machines by Working Group 07 of Study Committee, *Electra*, 1980 (11): P. 51~64.

3 Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. Л.: Энергоатомиздат, 1979.

4 ГОСТ 20074-83. Электрооборудование и электроустановки. Метод измерения частичных разрядов. М.: Изд-во стандартов, 1983.

5 Ваксер Б.Д. Исследование и усовершенствование изоляции электрических машин большой мощности с повышенным средним градиентом. Дисс. канд. техн. наук, 1967.

6 Овсянников А.Г. Энергетические характеристики частичных разрядов воздушной полости твердого диэлектрика. М.: Гос. науч. исслед. энерг. ин-т им. Г.М. Кржижановского, 1984. Деп. № 1535 ЭИ-Д84.

7 Devins J.C. The Physics of Partial Discharges in Solid Dielectrics. *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, 1984. Vol. EI-19. (5): October.

8 Нормаль объединенных немецких электриков VDE 0530. Определения для электрических машин. Ч. 1. Общее.

刘君堂 译自《Электротехника》
1989, № 5 刘上椿 校