



中华人民共和国国家标准

GB/T 34665—2017

电机线圈/绕组绝缘介质损耗因数 测量方法

Measurement method of dielectric dissipation factor of electric machinery
coil/winding insulation

2017-11-01 发布

2018-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测量原理与测量设备	2
5 单支线圈测量	7
6 整机绕组测量.....	12
7 分析与报告.....	13
参考文献	15

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国电气绝缘材料与绝缘系统评定标准化技术委员会(SAC/TC 301)归口。

本标准起草单位:东方电气集团东方电机有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、嘉兴市新大陆机电有限公司、哈尔滨电机厂有限责任公司、浙江荣泰科技企业有限公司、佛山市顺德区质量技术监督标准与编码所、上海电气电站设备有限公司上海发电机厂、苏州太湖电工新材料股份有限公司、北京北重汽轮电机有限责任公司、苏州巨峰电气绝缘系统股份有限公司、哈尔滨电气动力装备有限公司、山东济南发电设备有限公司、上海福伊特水电设备有限公司。

本标准主要起草人:漆临生、刘亚丽、黄绍波、郭振岩、吴晓蕾、潘延明、陈昊、胡波、刘凤娟、吴化军、魏景生、祁世发、狄宁宇、李军生、朱玉珑、夏宇、张春琪、王立军、杨坤霞、刘晖、陈阳、夏智峰、沈彬、王文。

电机线圈/绕组绝缘介质损耗因数 测量方法

1 范围

本标准规定了电机线圈/绕组绝缘介质损耗因数及其增量的测量方法。

本标准适用于不同额定电压等级的旋转电机定子成型线圈/绕组,如额定电压等级为 6 kV 及以上的电机,也适用于单支定子线圈在铁心内外(即下线前后)和定子绕组的介质损耗因数及其增量的测量。

本标准适用于已完成绝缘固化的线圈/绕组,不适用于未固化的线圈和绕组。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 7354 局部放电测量

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第 1 部分:一般定义及试验要求

GB/T 16927.2 高电压试验技术 第 2 部分:测量系统

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电容 capacitance

C

导体间存在电势差时,导体和电介质的装置能够储存电荷的特性。

注 1: C 是电荷数量 q 与电势差 U 之间的比率,见式(1)。电容值永远为正,当电荷量与电势差的单位分别为库伦和伏特时,电容单位为法拉。

$$C = \frac{q}{U} \dots\dots\dots (1)$$

注 2: 见 GB/T 31838.1—2015 的 3.4。

3.2

介质损耗因数 dielectric dissipation factor

$\tan \delta$

复相对电容率的虚部与实部之比的绝对值,见式(2):

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \dots\dots\dots (2)$$

注: 见 GB/T 31838.1—2015 的 3.3.4。

3.3

介质损耗因数增量 incremental of dielectric dissipation factor

$\Delta \tan \delta$

在两个指定电压下测量的绝缘介质损耗因数($\tan \delta$)的差值,高电压介质损耗因数相对于低电压介质损耗因数的增量。

3.4

介质相角 dielectric phase angle

θ

施加于介质的正弦交流电压和由此产生的与该电压周期相同的交流电流分量之间的相位差。

3.5

局部放电 partial discharge; PD

导体间绝缘部分桥接的电气放电。

注:绝缘系统中当电场强度超过临界值出现的短暂气体电离是一种典型局部放电。

3.6

等位层 inner grading system

内均压层 Internal stress-grading system

沿导体直线长度或全部线圈长度,导线局部或导线外全部的半导体层或导电层。

4 测量原理与测量设备

4.1 测量理论

介质损耗因数是特定电压、频率、温度下的介质损耗角正切(余弦)值。绝缘系统的介质损耗在电气等效电路可以表示为无源元件的串联或并联,如图 1a)和图 2a)所示,绝缘的介质损耗用一个无损耗电容和电阻的并联或串联电路来表示,其关系式如式(3)~式(8)所示:

$$\tan \delta = \cos \theta = \frac{X_p}{R_p} = \frac{G}{\omega C_p} = \frac{1}{\omega R_p C_p} = \frac{I_R}{I_C} \dots\dots\dots (3)$$

$$I_R = \frac{U}{R_p} \dots\dots\dots (4)$$

$$I_C = \omega C_p U \dots\dots\dots (5)$$

式中:

C_p ——并联电容,单位为法拉(F);

G ——等效交流电导,单位为西门子(S);

R_p ——等效交流并联电阻,单位为欧姆(Ω);

X_p ——等效交流并联阻抗,单位为欧姆(Ω);

ω —— $2\pi f$ (正弦波);

θ ——相角;

δ ——损耗角。

$$\tan \delta = \omega R_s C_s \dots\dots\dots (6)$$

$$U_R = IR_s \dots\dots\dots (7)$$

$$U_C = \frac{I}{\omega C_s} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

C_s ——串联电容,单位为法拉(F);

R_s ——等效交流串联电阻,单位为欧姆(Ω);

ω —— $2\pi f$ (正弦波);

δ —— 损耗角。

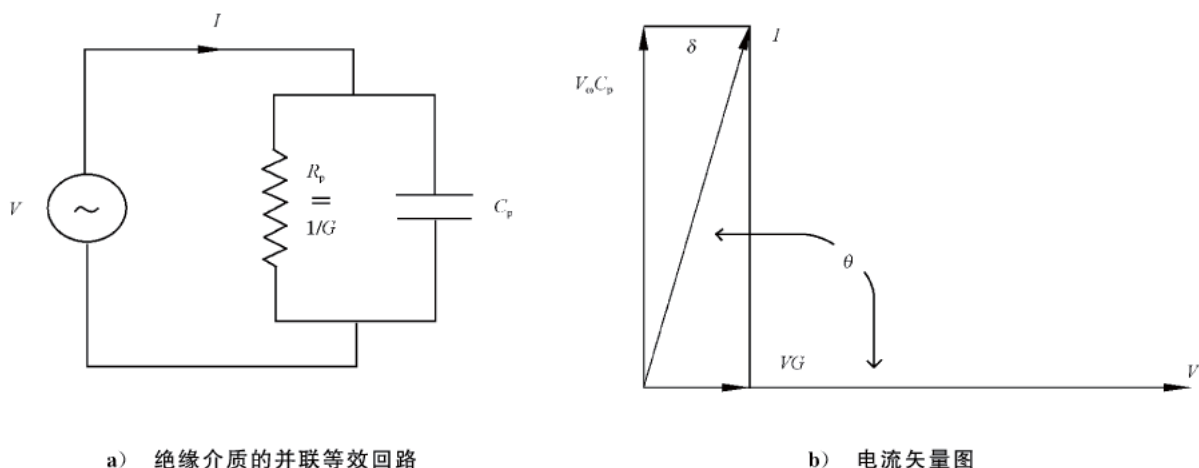


图 1 绝缘介质的并联等效回路和矢量图

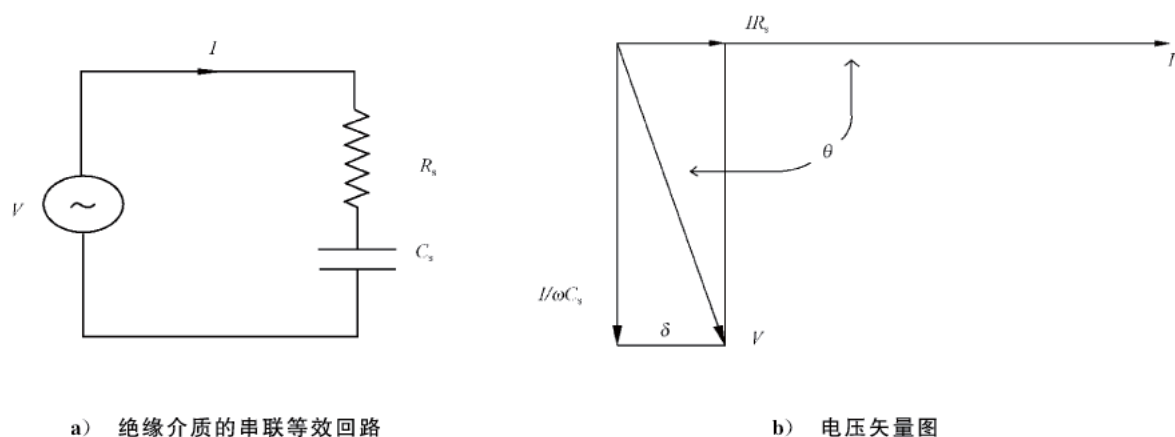


图 2 绝缘介质的串联等效回路和矢量图

如图 1b) 和图 2b) 所示, 电流矢量和电压矢量可分解为两个相互垂直的分量, 即相位超前电压 90° 的电容电流分量 I_C 、相位与电压相同的电阻电流分量 I_R ; 相位移角由附加在电容分量上的电阻分量引起。介质损耗因数 $\tan \delta$ 可以表示为式(9):

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega R_p C_p} = \omega R_s C_s \quad \dots\dots\dots (9)$$

电容分量 C_s 或 C_p 表示被试绝缘系统的无损电容, 电阻分量 R_s 或 R_p 汇集了各种损耗。损耗特征测量应考虑与导体结构、槽部防晕层或接地定子槽间主绝缘相关的因素。在测量定子槽外的单支线圈的介质损耗因数时, 若使用保护电极, 则仅考虑与对地绝缘在电气上是串联的介质; 在测量定子槽内的单支线圈或绕组绝缘的介质损耗因数, 应考虑端部防晕层和周边表面状态的影响。在对比不同测量条件下的测量结果时, 应考虑这些影响因素。

当施加的试验电压低于局部放电起始电压时, 测得的介质损耗因数表示由介质吸收和电导损耗构成的绝缘固有损耗, 以及其与测量电极电接触状态的损耗。通常介质损耗分量引起的介质损耗因数随

电压升高的变化非常小,任何明显高于正常介质损耗因数的情况意味着绝缘的变化,如树脂组成不同或固化不合适。

随着试验电压升高,介质损耗会呈现如下两种形式的变化,如图 3 所示:

- 绝缘材料固有损耗(介质极化和电导)的增加;
- 绝缘材料附带气体(气隙)的局部放电引起介质损耗因数增加;更多气隙放电引起介质损耗因数进一步增加。

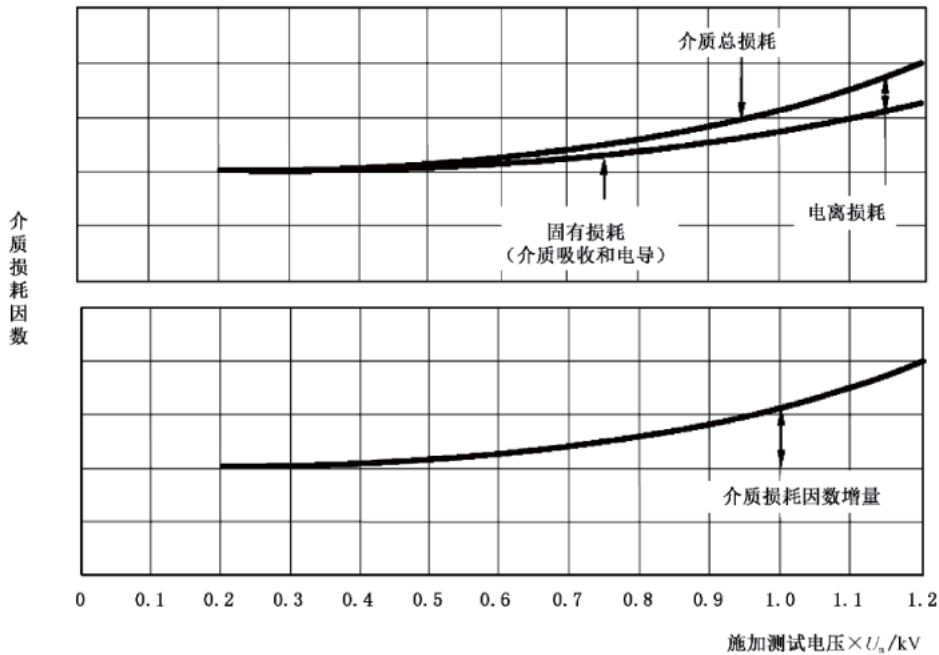


图 3 介质损耗因数随电压升高的关系

4.2 测量应用及其影响

测量介质损耗因数及其增量,是确认线圈绝缘一致性的重要保证手段之一。

可以测量在定子槽内的绕组的单支线圈的介质损耗因数当作维护测试,检测确定线圈下线或运行的介质损耗因数变化。

介质损耗因数的初始值用于表征绝缘系统的固有状态,若介质损耗因数初始值一致,则表明线圈绝缘制造正确且稳定。介质损耗因数随试验电压升高而增大是正常现象,表示增大的气隙局部放电。影响介质损耗因数增量幅度的因素有很多,如绝缘分层、浸渍不良、固化不完全、粘接胶不够、起皱和污秽等。线圈表面,如保护绝缘层、附加绝缘层、表面涂层等处理状况及端部防晕也会影响介质损耗因数增量的幅度。

由于加工工艺的原因,气隙可能在采用相同工艺制造的线圈的绝缘层中产生,气隙的多少会影响介质损耗因数增量。如图 3 所示,含有较多气隙的线圈绝缘层,介质损耗因数增量较大。

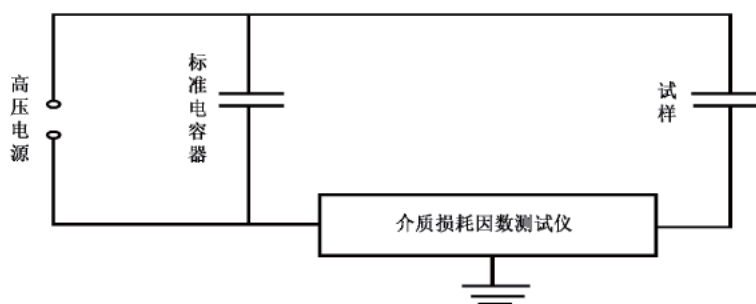
线圈或绕组在运行期间的介质损耗因数增量变化是绝缘劣化过程的反映,此时,电、热、机械和环境等因素共同影响绝缘系统。

线圈长度或电极长度会影响介质损耗因数测量的灵敏度,通常,测不到局部异常高的介质损耗因数及其增量。线圈的介质损耗因数增量被视为线圈全长或电极全长的介质损耗因数增量的平均值,且试验灵敏度随被试线圈/棒的长度增加而降低。线圈/棒的介质损耗因数受试样的形式和几何尺寸、温度、

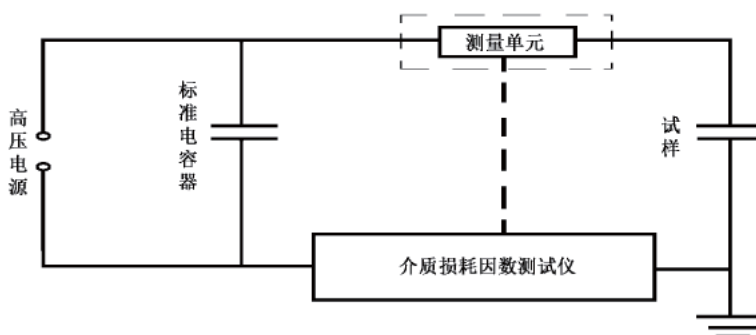
环境、电极系统、试验电压的波形、频率及绝缘系统中所采用绝缘材料等影响,因此,在相同条件下的测量结果才具有可比性。

4.3 测量原理图

介质损耗因数典型测量原理图如图 4 所示,可采用西林电桥或相当类型的电桥进行测量。按试样是否与地脱离,试验电路可分为试样不接地和试样接地。使用不具备试样接地测量功能的测量仪器进行接地介质损耗因数测量时,需要专业的技能。因此,本标准推荐使用具有支持试样接地测量功能的测量仪器。



a) 不接地试样介质损耗因数测量原理图



b) 接地试样介质损耗因数测量原理图

图 4 介质损耗因数的典型测量原理图

4.4 测量设备

4.4.1 试验电压源

工频高压试验设备和输出工频电压应满足 GB/T 16927.1 的规定。

4.4.2 试验电压测量装置

使用精度为 3.0% 及以上的交流电压测量装置,试验电压波形的有效值应满足 GB/T 16927.2 的规定。

4.4.3 介质损耗因数电桥

测量仪器可以是数字式或模拟量式,应能测量被试线圈/绕组的介质损耗因数和电容值,误差不超

过 0.2% 或不超过测量值的 10% 或两者中较大值。

4.4.4 标准电容

标准电容为一个确定电容值的高压电容器,其额定电压值高于最高试验电压值,电容精度等级为 0.05 或以上,其在额定电压时的局部放电量按照 GB/T 7354 应小于 5 pC,标准电容的介质损耗因数小于或等于 0.01%。

标准电容的典型值为 100 pF 或 1 000 pF。

4.4.5 条件处理

进行介质损耗因数测量前,宜对试样进行条件处理,即试样在测试的湿度和温度条件下,进行环境预处理和施加 1.1 倍的最高试验电压、持续时间为 20 s~240 s 的电预处理。

4.4.6 电压施加方式

在测量不同电压下的介质损耗因数时,建议在电压升压过程中测量,也可在电压逐渐降压过程测量。在电压升压过程中测量,能测量更准确的介质损耗因数增量;在电压下降过程中测量,介质损耗因数在低电压时偏高,介质损耗因数增量偏小,因空隙的局部放电熄灭电压低于局部放电的起始放电电压。

应采用相同的电压施加方式和升压速度。

进行预处理后,将施加的条件电压降至零,再升到最低的测量电压,以保证所有局部放电在测量初始电压介质损耗因数时已熄灭。

4.4.7 施加电压值和测量点数

因介质损耗因数随施加电压值变化而变化,测量介质损耗因数的施加电压值和测量点数可以是多样的,但应测量两个电压点的介质损耗因数,且第一个电压点(低电压值)选择低于线圈局部放电的起始放电电压值,但要足够高,以保证能够产生一定的介质损耗;第二个电压点应高于线圈的局部放电起始电压且接近线圈的实际运行电压。介质损耗因数优先按每级 $0.2 U_N$ 或更大的电压阶梯进行测量,其可得到足够数量的数据点和完整的介质损耗因数与电压的关系,当在初始电压 $0.2 U_N$ 的电压值高于 4 kV 时,允许按照 4 kV 计算。

现代测量仪器技术已具备连续电压升高和连续介质损耗因数测量功能,采用电压连续升压测量介质损耗因数可获得连续电压与介质损耗因数的关系,电压升压速度应根据介质损耗测量设备相应速度来确定,以便测得稳定的介质损耗因数。为了便于比较,应采用相同的升压速度和电压范围。

测量介质损耗因数的电压可根据试样的额定电压选择以下序列:

在室温条件下,试样为线圈时:

- 两个电压点: $25\% U_\varphi$ 和 $100\% U_\varphi$;
- 两个电压点: 2 kV 和 U_φ ;
- 两个电压点: $0.2 U_N$ 和 $0.6 U_N$;
- 多个电压点: $0.2 U_N$ 、 $0.4 U_N$ 、 $0.6 U_N$ 、 $0.8 U_N$ 、 $1.0 U_N$ ……。

在高温条件下,试样为线圈时:

- 两个电压点: $25\% U_\varphi$ 和 $100\% U_\varphi$;
- 两个电压点: 2 kV 和 U_φ ;
- 两个电压点: $0.2 U_N$ 和 $0.6 U_N$ 。

在高温条件下,试样为绕组时:

——两个电压点: $25\%U_{\varphi}$ 和 $100\%U_{\varphi}$;

——两个电压点: 2 kV 和 U_{φ} ;

——两个电压点: $0.2U_N$ 和 $0.6U_N$ 。

注: U_N 、 U_{φ} 分别是线圈/棒或电机的额定电压有效值、额定相电压有效值,单位为 kV。

4.4.8 校准

建议使用介质损耗因数低于 1×10^{-5} 的高压电容器,通常使用气体电容器,也可使用由低损耗的聚丙烯薄膜制成的电容器。电容器的选择与介质损耗因数测量仪器有关。电容器的额定电压应比预期最高试验电压高 20%,且在其额定电压时无局部放电或局部放电量小于 5 pC。

4.4.9 屏蔽保护

连接测量设备、试样的线路应妥善屏蔽,以确保测量值是试样所产生的损耗。

5 单支线圈测量

5.1 试样

试样可以是完成全部生产过程的产品线圈或试样线圈,也可以是为进行测量而截取的部分线圈。对于高电压线圈宜在防晕处理完成后进行试验。

5.2 电极系统

5.2.1 概述

按有无保护电极可分为三电极系统和两电极系统。单支线圈介质损耗因数测量的三电极系统示意图如图 5 所示。

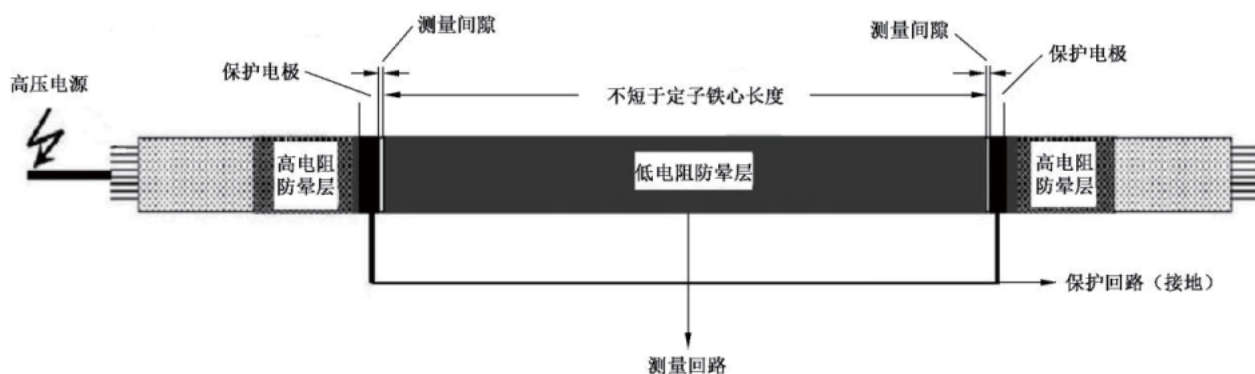


图 5 单支线圈三电极系统示意图

单支线圈在嵌入定子槽内前可以采用两电极系统或三电极系统测量线圈绝缘的介质损耗因数;嵌入槽内的线圈应采用两电极系统。

三电极测量系统测得的介质损耗因数是测量电极与高压电极(铜导线)间的所有绝缘产生的损耗,包括主绝缘和与主绝缘串联的其他介质绝缘,如股线绝缘、匝间绝缘、导线换位绝缘和填充绝缘等产生的损耗,而对于含有等位层技术的线圈更为复杂。两电极系统除测量主绝缘和与主绝缘串联的其他绝

缘产生的损耗外,还包括电路上并联的端部绝缘产生的损耗。

测量装置及所有连接线,应具有良好的屏蔽保护层。

5.2.2 高压电极

高压电极为高电压施加电极,线圈的高压电极是线圈/棒的铜导体,并联铜股线电气连接可靠,裸露铜导体在测量电压范围内无尖端放电和电晕。

5.2.3 测量电极

5.2.3.1 概述

测量电极是包裹被试线圈需要测量介质损耗因数部分的外电极,由良性电导体构成,连接测量仪器或测量单元。

测量电极长度不短于铁心长度。

圈式线圈上、下层边的测量电极并联或分边,建议并联测量。

线圈测量系统按线圈/棒嵌入定子槽内或在定子槽外而不同。

5.2.3.2 线圈在定子铁心槽外

线圈表面有低电阻防晕层,沿整个电极长度外表面可采用夹金属板、包裹金属箔、螺旋缠绕金属线三者之一作为外电极降低电阻防晕层的电阻,以消除其对测量结果的影响。若采用螺旋缠绕铜线时,应以螺旋方式缠绕直径 0.8 mm 及其以上裸铜线,且缠绕间距为 50 mm~80 mm,铜线紧密缠绕在线圈外表面与其稳定接触;若采取包裹金属箔或金属夹板时,应注意减少金属电极与低电阻防晕层间的气隙。建议采取夹金属板或包裹金属箔方式。

线圈表面无低电阻防晕层,则外电极与线圈表面间应无气隙。

5.2.3.3 线圈嵌入定子槽内

对于嵌入定子槽内的线圈,铁心作为测量电极。此时铁心和线圈间的介质与主绝缘串联,其介质损耗因数应计入测量。若定子铁心能够与地连接脱开,则通过介质损耗测量单元接地;若定子铁心与地不能脱开,则采取测量单元不接地的测量方式。

5.2.4 保护电极

5.2.4.1 概述

保护电极仅在三电极系统中使用,用于屏蔽或消除测量电极以外并联绝缘介质产生的损耗。保护电极使用宽度 5 mm~10 mm 的金属导电粘箔/带,或使用已证明作为保护电极是有效的其他材料。保护电极按照线圈有无防晕层,可有 5.2.4.2 和 5.2.4.3 所述的形式。

5.2.4.2 无防晕层线圈

保护电极在测量电极外两端包扎,保护电极与测量电极间的间隙为 4 mm~10 mm。

5.2.4.3 有防晕层线圈/棒

5.2.4.3.1 保护电极在高压阻层表面

保护电极在线圈两端的高电阻防晕层表面绕包一圈,如图 6 所示。保护电极的位置在距线圈/棒两

端低电阻防晕层实际末端外一定距离的高电阻防晕层外表面,距离为 3 mm~10 mm,具体尺寸与防晕层电阻值有关。

本方法不适用于含有有高电阻防晕保护层的线圈。

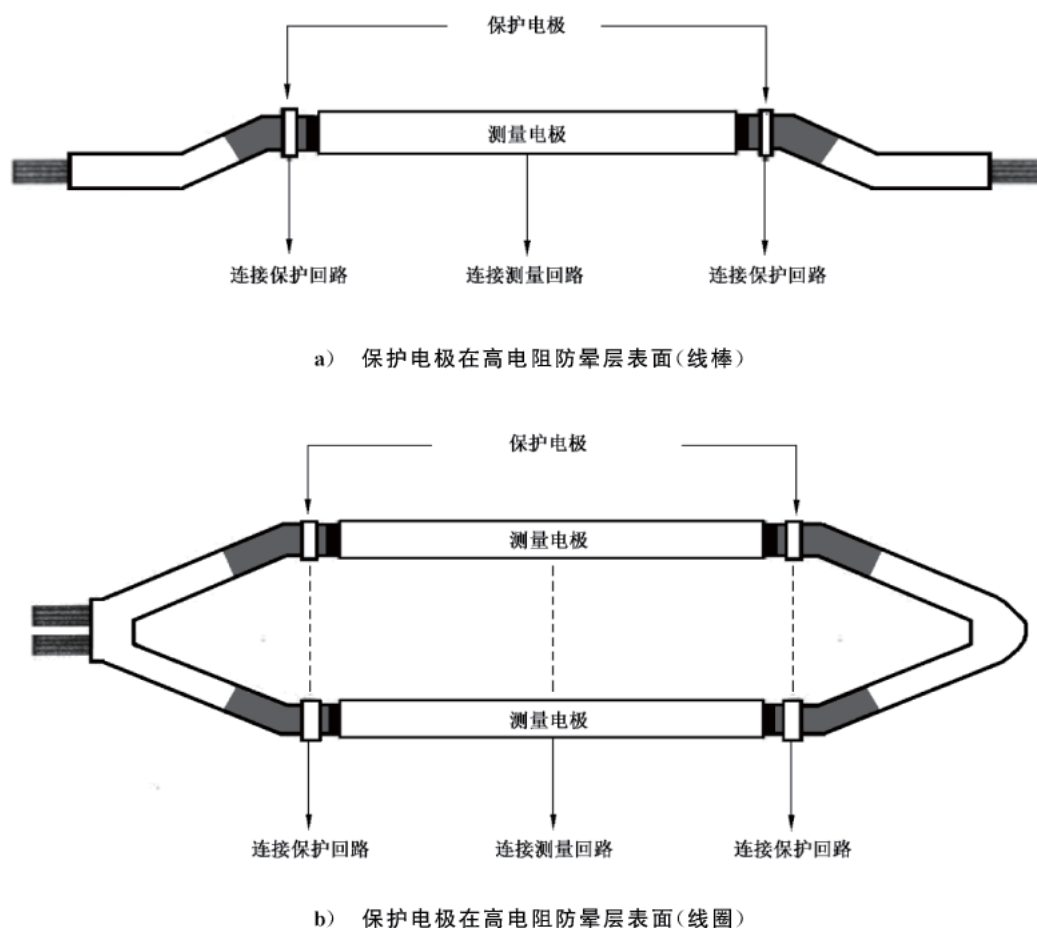


图 6 保护电极在高电阻防晕层表面

5.2.4.3.2 割断低电阻防晕层

在槽部低电阻防晕层两端割开一个临时的间隙,将槽部低电阻防晕层剩余部分与高电阻防晕层作为保护电极,测量槽部低电阻防晕层下绝缘的介质损耗因数。

割断低电阻防晕层时,应尽可能避免损伤线圈绝缘。此方法可测得真实的介质损耗因数及其增量。完成测量后应对割断间隙进行防晕层恢复处理,通常是在割断间隙处重新涂刷低电阻防晕漆,涂刷的低电阻防晕漆需固化后才能进行其他电气试验。割断低电阻防晕层测量介质损耗因数的电极示意图如图 7 所示。

间隙割断的宽度会影响介质损耗因数的测量值,推荐割断间隙宽度不大于绝缘厚度,最小间隙应大于或等于 2 mm。

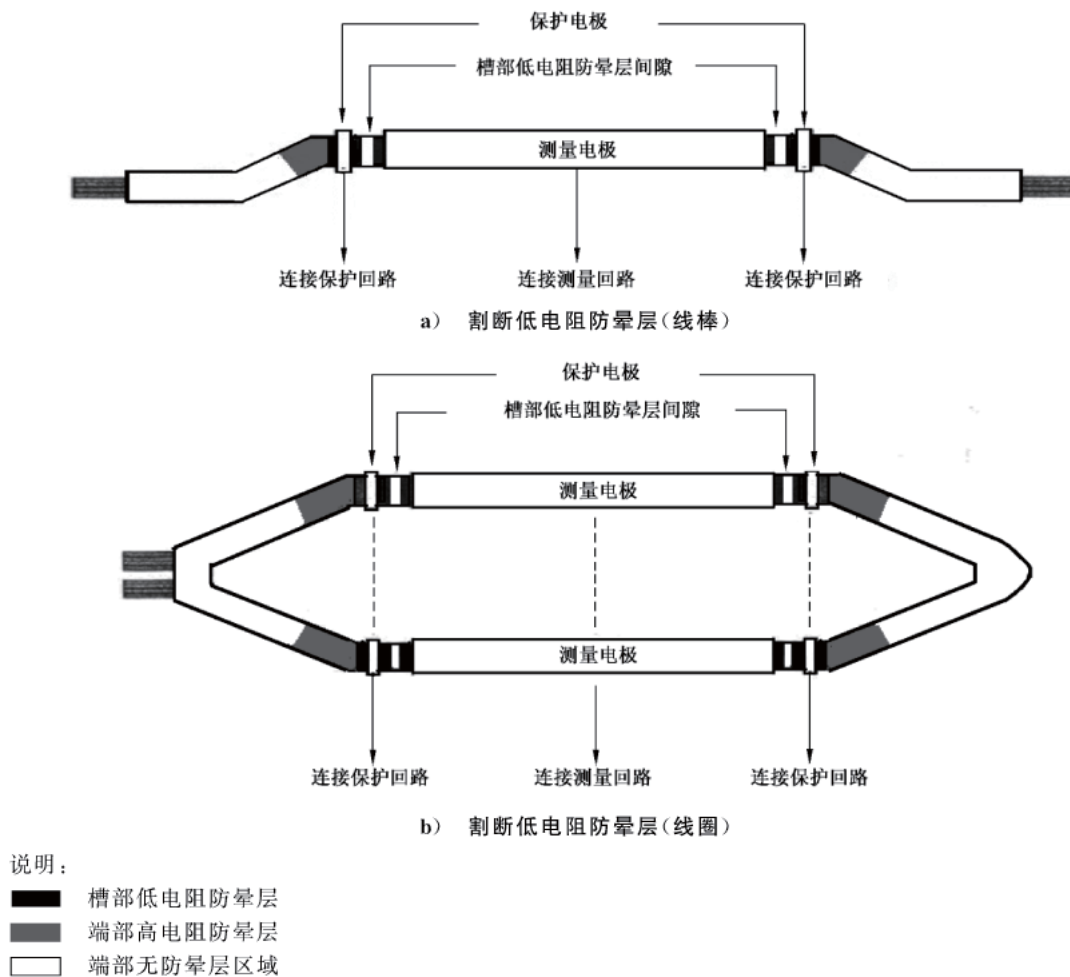


图 7 切断低电阻防晕层

5.2.4.3.3 全防晕层

保护电极在高电阻防晕层外,整个线圈的防晕层为测量电极,即测量电极延伸到高电阻防晕层末端,保护电极贴在线圈/棒端部高电阻防晕层外,与测量电极间的间隙为 4 mm~10 mm。试验线圈测量电极的长度更长,测得的线圈/棒的介质损耗因数及其增量包含了高电阻防晕层的介质损耗因数值。全防晕层结构的测量介质损耗因数的电极示意图如图 8 所示。

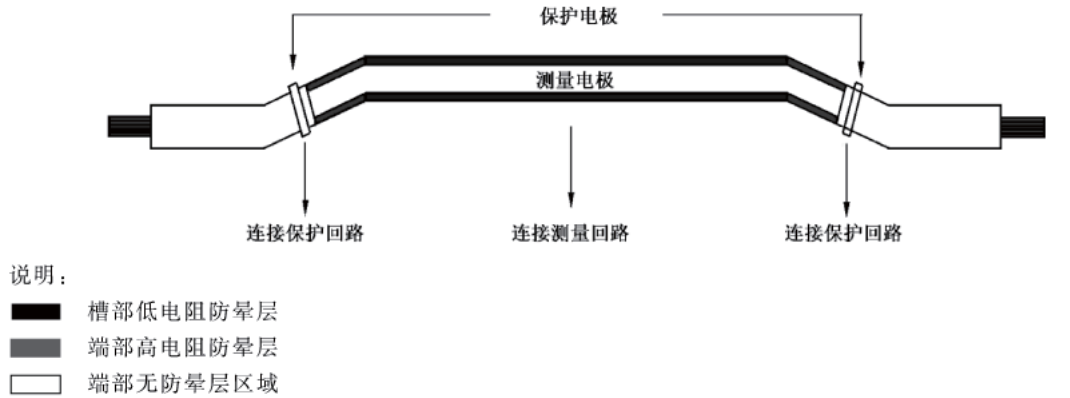


图 8 全防晕层结构示意图

5.2.4.3.4 驱动保护法

将保护电极包在槽部低电阻防晕层末端外表面,保护电极与线圈表面的接触电阻低,保护电极能有效截留所有来自线圈高电阻防晕层的电流。测量潜在误差来自于测量电极与保护电极间电位差带来的电流流通。在保护电极与测量电极间使用一个电位跟踪调节电路调节保护电极和测量电极间的电位使其最小,电压跟踪电路应具有输入阻抗高、输出阻抗低、单位电压增益且零相位移。驱动电路保护电极示意图如图9所示。

也可以采取适当加宽保护电极与测量电极间隙或通过一个电阻升高保护电极电位方式来实现。保护电极间隙或保护电极接地电阻值与测量仪器的测量电位有关,要求保持测量电极与保护电极在一个电位水平。

若半导体涂层的表面电阻率低于 $1\,000\ \Omega/\text{sq}$,则此保护法不适用。

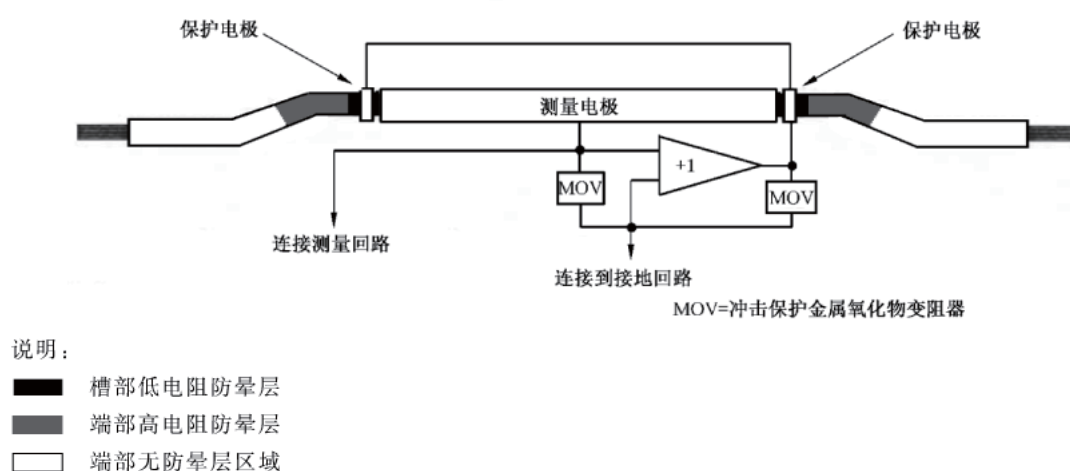


图9 驱动电路保护电极示意图

5.3 测量程序

5.3.1 试样数量

同生产批次的被试线圈数量可以是该批次线圈的1支或2支到该批次的所有线圈。能否真实反映生产过程是选择样本大小的重要标准,选取足够样本数量以保证在统计意义上的取样数量也非常重要。

5.3.2 试样准备

被测量线圈的所有股线应电连接,建议采用直径0.8 mm裸铜线将所有单独的股线缠绕连接。

测量电极应不短于铁心长度,保护电极置于被试线圈的正确位置应无尖角。高压连接线无局部放电,任何异常的外部局部放电都会导致线圈的介质损耗因数增加,从而掩盖线圈绝缘的真实介质损耗因数。

宜在耐电压试验前测量介质损耗因数。

5.3.3 单元电容

单元电容值用以检查线圈的固化或浸渍质量。

测量所得单元电容应在按式(10)计算所得单元电容值的 $\pm 10\%$ 误差范围内:

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

C ——线圈电容,单位为法拉(F);

A ——被试线圈绝缘介质面积,单位为平方米(m^2);

d ——绝缘厚度,单位为米(m)。

5.4 测量温度

线圈的介质损耗因数及其增量的测量在环境温度下进行,也可在高温下进行测量以判断线圈制造工艺。若只测量一个高温点的介质损耗因数时,该温度点应选择为绝缘系统的耐热等级。

注:介质损耗因数与温度之间关系曲线可判断绝缘固化程度或绝缘系统的固有特性。

6 整机绕组测量

6.1 概述

测量绕组的介质损耗因数可评估绕组制造质量,但试验结果与绕组防晕结构和固定结构密切相关,无统一限值。在电机维护期间测量运行绕组的介质损耗因数可评估绝缘状况,因受环境、绕组防晕和固定结构等因素影响,也无绝对值可供参考。但介质损耗因数随时间变化趋势有利于评估绕组的状况。介质损耗因数在运行期间的变化是劣化过程的反映或反映结果,一旦观察到介质损耗因数持续增加,则有必要进行检查和其他诊断试验。

绕组介质损耗因数的测量值是整个被试绕组的平均的介质损耗因数值,试验不能反映绕组劣化最严重的线圈,绕组介质损耗试验结果偏大不能断定是由多数线圈含有小空隙还是少量线圈严重劣化导致的。

整机绕组的介质损耗因数及其增量的测量根据定子机座与地能否隔离而分为试样接地和非接地两种方式,典型的测量原理图如图4所示。通常采用定子与地连接的方式,测量仪器应能支持试样接地的测量方式。

整机绕组测量适用于常规冷却绕组、水冷绕组。在不通水状态下,水冷绕组也可按照常规冷却绕组方法测量。

6.2 测量

6.2.1 常规冷却绕组的测量

隔离每相绕组的出线端子,如分别将出线端子和中性点端子与电力系统和接地电路断开,解开每相绕组的中性点。

出线端子和中性点端子间存在距离,宜用特殊连接线将出线端子和中性点端子连接起来,这样可以使绕组两端电压值相同。

提高检测灵敏度和局部状况后,分别测量每相绕组在不同电压点的对地介质损耗因数。

6.2.2 水冷绕组的测量

测量过程中应使用去离子水不间断循环冷却,去离子冷却水的电导率小于 $0.25 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。

每相绕组端子应隔离,如分别断开高压端子与系统连接、中性点端子与接地系统连接及其每相绕组中性点连接。

每相绕组的出线端子和中性点端子应连接在一起,以确保整个绕组的电压值相同。

为了最大限度地提高检测灵敏度和局部状况的能力,分别测量每相绕组在不同电压点的对地介质损耗因数。由于增加了去离子水和引水管绝缘产生的附加损耗,应对测得的对地绝缘介质损耗因数进

行修正。水和引水管损耗通过测量每相绕组的直流电阻确定,修正后的介质损耗因数近似为绕组绝缘的介质损耗因数。

6.2.3 计算

6.2.3.1 两步计算介质损耗因数

每相绕组的电容和介质损耗因数的测量均在相同的几个电压点下进行。每相绕组绝缘电阻的测量在 2.5 kV、5 kV 或 10 kV 的直流电压下进行。

对于分相绕组,分别用测得的直流绝缘电阻和电容计算每个交流电压测量点的修正值,见式(11):

$$\text{修正值} = 1/R\omega C \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

R ——直流绝缘电阻,单位为欧姆(Ω);

ω —— $2\pi f$ (正弦波);

C ——分相绕组电容,单位为法拉(F)。

在每个电压点测量下用测得的介质损耗减去修正值得到修正后的介质损耗。

6.2.3.2 测量过程和计算实例

测量每相绕组多个电压点下的电容和介质损耗因数。测得的是定子对地绝缘及其水冷系统在内的总交流介质损耗因数,如对额定电压为 18 kV 的电机,测量介质损耗因数在以下交流电压点下进行: 2 kV、4 kV、6 kV 和 10.5 kV(额定相电压)或更高电压。测量每相绕组的绝缘电阻通常在以下直流电压点下进行: 2 kV、5 kV 或 10 kV。

对于每相绕组,通过测得的绕组绝缘电阻和对应的交流测量电压,计算得到对应的交流电压测量点的直流功率损耗,如式(12)所示:

$$P_{Ldc} = \frac{V_{ac}^2}{R_{dc}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

P_{Ldc} ——归到对应的交流电压测量点的直流介质功率损耗,单位为瓦特(W);

V_{ac} ——交流测量电压值,单位为千伏(kV);

R_{dc} ——分相绕组绝缘电阻,单位为兆欧(M Ω)。

对应的每个测量电压点测得的功率损耗 P_{Lac} 减去归到对应交流电压测量点的直流功率损耗 P_{Ldc} 得到相对于电压测量点的修正功率损耗 P_{corr} 。

注:实践经验表明,在水的电导率小于 0.25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 条件下,冷却水系统的电容和交流电导电流与绕组电容和交流充电电流相比可忽略不计的。同时,冷却水系统的绝缘电阻损耗与测量电压呈线性关系。假设绕组绝缘的直流电导电流是微小的,则测得的电阻的确是冷却水系统的直流电阻。

7 分析与报告

7.1 测量结果的分析

合适的介质损耗因数的测量结果可说明线圈采用了低介质损耗材料制造且制造工艺合适。介质损耗因数增量小,表明线圈绝缘构造和密实性(无附加气体和空隙)程度好、线圈槽部低电阻防晕处理合理和表面状态良好。相同结构和制造工艺的线圈/棒测得的介质损耗因数差异通常反应偶发空隙的差异。在测量电压低时,如 2 kV 下,测得的介质损耗因数,未受绝缘空隙的局部放电的影响,则能反映如下情况:

- a) 绝缘材料和结构状态的固有介质损耗；
- b) 低电阻防晕层及其槽内材料与铁心接触状况；
- c) 湿度和清洁度；
- d) 材料的固化程度。

在测量电压低时,如 2 kV 下,测得的介质损耗因数增量,则能反映如下情况:

- a) 绝缘内部的空隙；
- b) 对绝缘有损害的局部放电；
- c) 防晕层的连续性；
- d) 材料体系的工艺过程质量；
- e) 热应力导致的绝缘分层。

然而,在测量绕组介质损耗因数时,绕组端部使用保护电极是不合适的,绕组试样介质损耗因数及其增量测量会受到实际绕组端部高电阻防晕层和环境的影响。

测得的电机每相绕组电容、介质损耗因数及其增量有可比性。如果绝缘维持稳定,定周期测得相近的结果。相似电机的测量结果也应相近。

7.2 测量报告

测量报告可包含如下内容:

- a) 绝缘类型,如沥青云母,环氧云母或聚酯云母；
- b) 测量温度；
- c) 定子绕组测量期间所使用的冷却气体的类型、压力和温度(若电机处于密闭状态)；
- d) 周围环境温度和湿度(若绕组曝露在大气环境中)；
- e) 冷却水的电导率、流速、进水温度和出水温度(对于水冷绕组)。

参 考 文 献

- [1] IEEE Std 286TM-2000(R2006) IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
电机线圈/绕组绝缘介质损耗因数
测量方法

GB/T 34665—2017

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2017年11月第一版

*

书号: 155066 · 1-57758

版权专有 侵权必究



GB/T 34665—2017