

233615

史迪奇 著

泄漏电流 试验法

水利电力出版社

引 言

要保證電力設備長期安全地運行，必須經常對設備進行檢查，及時發現缺點而加以修理。

電力設備的絕緣容易變壞，如受潮、脆化、老化、變質等；絕緣的損壞在電力設備的事故中占相當大的比例。要了解設備的絕緣情況，必須通過絕緣預防性試驗。加強定期的絕緣預防性試驗可以大大的減少絕緣事故。

電力設備的預防性試驗，大致可分為測量絕緣電阻、泄漏電流、介質損失角和耐壓試驗等幾種。這幾種試驗在全國各地都已推行了。

本書只說明絕緣預防試驗法中的一種——泄漏電流試驗，並介紹了著者幾年來從事這一工作所得的點滴經驗，內容切合實際情況，可供讀者參考。

書中的前面幾章對泄漏試驗作了一些簡單說明，便於初級試驗工學習。從第十章起，主要一些經驗資料，也適合於從事這項工作的技術人員參考。

著者深望讀者對本書提出寶貴意見，以便共同提高。

著 者

目 录

第一章	电力设备进行泄漏电流試驗的意义	4
第二章	簡單的泄漏試驗接綫图和說明	6
第三章	簡單泄漏試驗的操作法	10
第四章	試驗結果的判斷	13
第五章	泄漏电流和溫度的关系	16
第六章	泄漏电流和時間的关系及吸收比試驗法	17
第七章	泄漏电流和电压的关系	19
第八章	体积泄漏和表面泄漏电流的測量	21
第九章	泄漏試驗中的遮蔽	22
第十章	整流原理和整流管的运行問題	26
第一节	真空管構造	27
第二节	整流原理	28
第三节	真空管定額	29
第十一章	全波整流和倍压整流	34
第十二章	整流后直流电压的測量	37
第十三章	泄漏試驗的一些經驗和問題	41
第一节	直流微安計扩大量程的方法	41
第二节	直流微安計短路刀閘的接法	45
第三节	直流微安計的保护装置	46
第四节	泄漏試驗的放电問題	51
第五节	直流电压的直接測量	53
第六节	体积电阻率和表面电阻率的測量	54
第七节	两个真空管的串联	55
第八节	真空管“漏气”后的恢复法	57
第九节	电源方面非正弦波电压对試驗的影响	58
第十节	被試品的反充电作用对試驗的影响	60
第十一节	升压速度对試驗的影响	63
第十二节	泄漏試驗时微安計指示摆动的原因	65
第十三节	泄漏电流为什么会有負值	66
第十四章	成套的泄漏試驗設備	67
第十五章	几种泄漏試驗接綫优缺点的比較	70

第一章 电力設備進行泄漏电流試驗的意义

为了防止电力設備在运行中发生絕緣损坏而引起事故，必須經常进行預防性絕緣保安試驗，以便及时发现缺陷而做到消灭事故。

絕緣保安試驗包括(1)絕緣电阻和吸收比試驗。(2)泄漏电流試驗。(3)測量絕緣的介質損失角。(4)交直流耐压試驗等几种。本書中所談的是泄漏电流試驗法。

在“怎样測量絕緣电阻”一書中，曾經把电力設備的絕緣性質等作了一些說明，所以在本書中就不再重复了。大家知道，电力設備是由导体和外壳兩部分構成的，中間隔有絕緣材料。这样，导体和外壳就成了二个电极，在兩极上加以电压之后，就有一些电流从絕緣材料的內部和表面上漏泄过去，这些我們所不希望有的电流就叫泄漏电流。根据在一定电压下通过絕緣材料的泄漏电流的大小，可以大体上了解該絕緣材料的質量怎样。

用搖表測量絕緣电阻时，泄漏电流是以絕緣电阻的形式表現出来的，因為我們用的仪表就是搖表，搖表上只有絕緣电阻的数字，沒有泄漏电流的数字。但是在电压固定的时候，絕緣电阻的大小也就表示泄漏电流的大小，它們中間的关系就是普通的欧姆定律，即

$$\mu A = \frac{U}{M\Omega}$$

μA ——泄漏电流（微安）；

$M\Omega$ ——絕緣电阻（兆欧）；

U ——加在絕緣上的电压（伏）。

从这一公式可以看出用搖表測量絕緣电阻和用其他方法測量泄漏电流，意义上是类似的；事实上由泄漏試驗所測得的电流数值换算为絕緣电阻后基本上是和搖表測量的結果符合的。

泄漏試驗具有搖表試驗所及不到的許多优点，如：作漏泄試驗时可以將电压随意提高，随意調整，可以測得很准确还可以同时作直流耐压試驗等。絕緣材料的很多缺陷，例如硬伤、碰伤、脆裂和高阻接地等，只有在較高电压的作用下，才可能发现。普通搖表的电压不高，所以只能找出絕緣材料的一般性缺点，如受潮等。

利用不同的电压測量絕緣材料在不同电压下的泄漏电流以了解絕緣材料的性能，对判断結果有很大的好处，因为絕緣材料如果沒有什么缺陷，則泄漏电流和电压應該是按正比例增長。在絕緣材料里面有缺陷时，泄漏电流的増加就比电压的增長要快；在电压較高时泄漏电流常是急剧增加，并且还表現出其他一些不正常的現象。这些情形用搖表測量时往往不能发现，因为搖表只有一种电压，而且不够高。

泄漏电流試驗可以由試驗所得数值换算出絕緣电阻值。但是用搖表測得的絕緣电阻值却不可以换算出泄漏电流值，因为要换算，得首先知道电压多少；搖表虽然在名牌上有电压規定值，但加到被試品上的电压，并非名牌数值而这电压和被試品的絕緣大小有很大的关系。当被試品的絕緣电阻很低时，电压也非常低；只有当絕緣电阻为无限大时，电压才接近名牌值。这电压不能用表計来測量，所以搖表的指示值不能换算为泄漏电流值。

有些高电压的设备，它的絕緣电阻极高，即使絕緣不良，而絕緣电阻值仍是很高，用搖表測量是沒有什么意义的，而作泄漏电流試驗就可以消除这个缺点，因为泄漏試驗电压可以随意

加高不受限制。

总之，泄漏电流試驗的一些优点是用搖表試驗所达不到的，因此，这一試驗現在已广泛地应用于电力设备的絕緣保安試驗工作中。

虽然如此，泄漏試驗也有它一定的缺点，如操作不方便，所用的仪表价值昂貴，笨重复杂，所以不如用搖表測量簡單方便。由于有这些缺点，这两种測量絕緣材料的方法，在目前还是并存的。普通一般性的絕緣試驗用搖表測量，对一些要求比較高的絕緣試驗，除用搖表測量外，还需进行泄漏試驗。

泄漏試驗的原理和用搖表作絕緣試驗基本上是相同的，因此絕緣材料在用搖表試驗时所表現出来的特性也同样在泄漏試驗时表現出来，所不同的只是在高电压下絕緣的性能和在低电压下的性能有所差別罢了。

第二章 簡單的泄漏試驗接綫图和說明

方式虽然很多，但只是整流部分接綫方式不同，其他部分基本上都是相类似的。在一般現場試驗时，因为对試驗没有什么特殊的要求，所以都是采用如图 1 的簡單接綫图。这种接綫图是采用临时性接綫，用完就可拆掉。但是每次工作时都要用一定的時間来进行接綫，是一个缺点。如果把全部設備裝成一套固定設備，就可以免掉这个缺点。

图 1 各个部件的用途及对它的要求，簡單說明如下：

K_1 ——高压側电源开关，通过它供給調压器以低压电源。可用普通双刀开关，但最好用有过电流跳閘設備的电磁开关，以便当被試品击穿损坏时，保护真空管不致因过負荷而损坏。

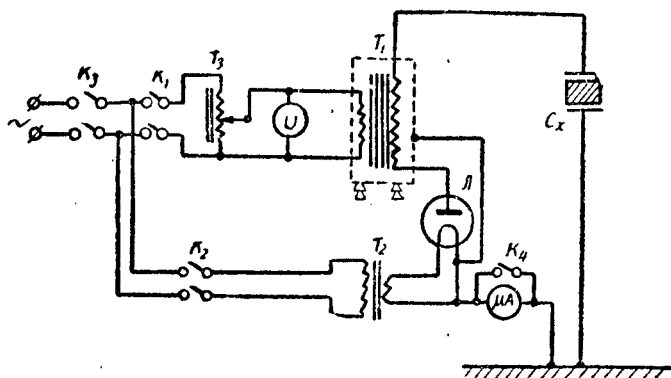


图1 簡單的泄漏試驗接綫图

K_2 ——整流管的灯絲电源开关，用来控制整流管灯絲。电流的接通和断开可用普通的双刀开关，也可根本不用。

K_3 ——电源总开关，可用普通的双刀开关，但最好用过負荷自动跳開开关，以保护試驗时因任何部分短路而损坏設備。

K_4 ——微安計的短路开关，用来防止当被試品击穿时大量短路电流通过微安計而使它燒毀。这一开关經常在閉合状态，只在微安計讀数时，才打开，讀完后，仍須閉上。这开关可以用一單刀开关，但接点必須紧密。

T_1 ——高压变压器，电压值的大小必須符合試驗的需要，变压器的高压側必須有兩個出綫套管，高压綫卷对外壳的絕緣以及高压与低压綫卷間的絕緣都需要良好，以减少本身泄漏对試驗結果引起誤差。

这一变压器，只需要它供給电压，对容量問題完全可以不予考虑，因为泄漏試驗时，負荷电流最多不超过一毫安，核算到变压器的容量是微不足道的。

此变压器一般皆用电压互感器代替，用的时候外壳不能接地，也不能放在地面上，要用絕緣垫垫起。对絕緣垫的要求也不高，一般用干木板就够了，这样可以防止变压器的本身泄漏电流通过微安計，而引起誤差。

T_2 ——整流管的灯絲变压器。它供給真空管灯絲一个低压电源，其二次綫卷的电压和电流应符合真空管灯絲的名牌数值，而一次綫卷的电压要符合电源电压，一般一次綫卷都做成抽头式如180伏，200伏，220伏，240伏等抽头，以便在电源电压变动时使用。

如果没有这一变压器，可用蓄电池代替；蓄电池的电压和容量也同样要根据真空管的名牌数值来决定。

T_3 ——調压变压器，可用普通單卷变压器（即自偶变压器），它的容量大小一般也可不必考虑。为了工作簡便，宜采用較小型的一种。

V ——交流电压表。用来測量变压器 T_1 的一次側电压，并根据这电压来換算二次側直流高压。

泄漏試驗时，对电压要求的准确度并不高，所以这一电压表采用准确等級为 $\pm 0.5\%$ 的交流电压表就已足够，甚至可用誤差等級为 $\pm 1.0\%$ 或者 $\pm 1.5\%$ 的仪表。

电压表的量程須能适合試驗电压的要求，最好采用一个具有多量程的电压表。因为作泄漏試驗需要分段的加压，只有一种量程的电压表往往不能得到較准确的数值。

μA ——直流微安計。用来測量泄漏电流大小。这一仪表的灵敏度极高。作泄漏試驗时，微安計是最容易损坏的设备，而它又是极貴重的一种仪表，所以要特別注意使用安全。在泄漏試驗工作进行时，微安計用短路閘 K_1 短路，只在讀数时，才拉开。关于短路閘的接綫和微安計的用法等書中另有說明。

即使按上述方法进行，仍不能完全避免当被試品泄漏电流过大或击穿时烧毁微安計。为了可靠的保护微安計，本書第13章第3节介绍一种采用霓虹放电管来保护微安計的接綫方法，供讀者参考。

由于被試品种类頗多，容量大小和絕緣等級也不同，所以泄漏試驗时泄漏电流的大小也不一样。若实际泄漏电流小而仪表的量程大，則影响到测量的准确度。如果泄漏电流大于微安計的量程，則又可能使微安計撞針，甚至损坏，所以微安計的量程要根据被試品的种类、絕緣情况等作适当的选择。

Ⅱ——高压整流管。用来將高压交流电变为高压直流，以供給試驗电源。

泄漏試驗并没有專用的高压整流管，通常用的都是医疗用X光机上的高压整流管，这种整流管的額定电流大都是30毫安，額定电压分110千伏及220千伏等几种，而一般試驗用的都是110千伏級的一种。

使用时，真空管的直流电压只能加到額定电压的一半，而所能加的交流电压更低，这是因为整流时有倍压作用的緣故，詳細的情况將在真空管額定电压与整流原理一章中說明。

图1中所用的高压变压器 T_1 是有两个高压套管的，但是現場中的高压試驗变压器一般只有一个高压套管，高压側的另一端是与外壳固定联接的，这样图1的接綫就不能滿足要求了，必須采用图2的接綫，將整流管絕緣起来。

图2中真空管Ⅱ的灯絲加热电源是由蓄电池供給，蓄电池和整流管一起架在高压絕緣台上，其他的說明均同图1。

如果不用蓄电池而用高压灯絲变压器也可以，高压灯絲变压器一般采用小比值的电流互感器(T_2)来代替，其二次电流不能超过高压整流管灯絲額定电流結綫图如图3。

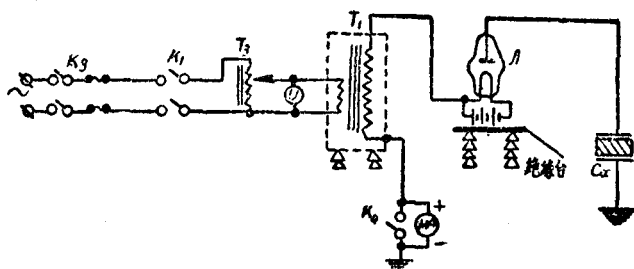


图2 真空管在高压侧的泄漏试验接线图
(以蓄电池作灯丝加热电源)

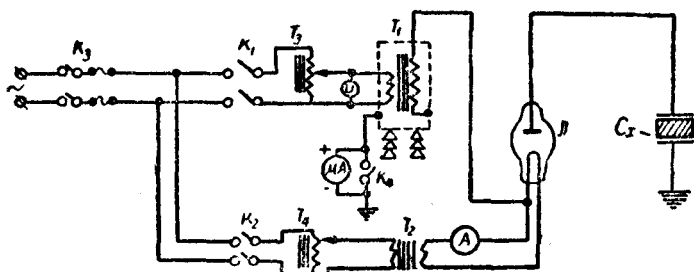


图3 真空管在高压侧，以高压电流互感器作
灯丝电源的泄漏试验接线图
 T_4 —调整灯丝电流的单卷变压器； A —测量灯丝电流大小用的电流表。

第三章 简单泄漏试验的操作法

泄漏电流试验的操作方法根据接线方式的不同而有所区别，但大体上是类似的，根据本书图1的接线方式作为例子，说明其操作步骤如下：

(甲)在通电合闸之前，应根据下列各点进行检査：

(1) 按照接綫图接好綫，并由另一人檢查接綫无誤。

(2) 測量电源电压数值，是否合于需要。

(3) 根据电源电压的大小，選擇灯絲变压器一次綫卷的适当分接头，使整流管灯絲电流达到額定值。

(4) 高压变压器 T_1 是否已用絕緣垫垫起，測量其絕緣是否良好，并且將它的外壳联接到灯絲上。

(5) 应用搖表測量被試品的絕緣是否良好，有沒有短路接地或絕緣不良的現象。

(6) 根据被試品的性質和絕緣电阻大小，選擇适当的微安計分接头。

(7) 調压变压器 T_2 应在零点位置。

(8) 短路开关 K_3 在合閘位置，檢查其接綫是否正确，接触是否良好，有沒有松动現象。

(9) 根据試驗需要的电压大小，計算变压器 T_1 的一次側应加的电压，这一电压应分成四段逐段增加，以便繪制曲綫。

算得的应加电压数值，最好就写在电压表的玻璃上，以免錯誤，試完后擦去。

(10) 檢查电压表接綫端子，是否正确。

(乙) 經過上述檢查后，可以合閘进行空載試驗（不接被試品）。空載試驗的步驟如下：

(1) 根据安全工作規程的規定进行安全工作的檢查，架設适当的遮欄。

(2) 合上总开关 K_0 及灯絲开关 K_2 ，真空管 J 的灯絲应开始由紅轉亮。

(3) 合上 K_2 之后半分鐘，在灯絲完全发热后再合上开关 K_1 。

(4) 合上 K_1 后暫不升高电压，而打开短路开关 K_3 ，看

微安計是否有指示。如果指示很大，則可能接綫短路。在正常情况下，指示值应为零。

(5) 把 K_4 合上，升高电压到規定的几个数值（一般为最高值的 $\frac{1}{4}$ ， $\frac{1}{2}$ ， $\frac{3}{4}$ ， $\frac{1}{2}$ 等四个数）。在各个电压下，打开短路閘 K_4 ，讀取本身泄漏电流的大小。其值經常在 1 微安以下。

如果本身泄漏很大，則应檢查变压器 T_1 的一二次綫卷間的絕緣，外壳对地的絕緣以及灯絲变压器 T_2 对地的絕緣是否良好，由 T_1 的外壳引接到灯絲上的遮蔽綫是否接得很好等等，以消除 T_1 本身的泄漏电流。

(6) 記下在各段試驗电压下仪器本身泄漏电流的大小，以便在正式試驗时从所得到的讀数中除去。

(7) 把电压退到零，先拉开 K_1 ，再拉开 K_2 ，最后拉开 K_3 。

(8) 应用接地綫將变压器高压端子接地放电。

(丙) 通过空載試驗証实仪器工作正常后，即可进行正式試驗，其步驟如下：

(1) 拆除变压器高压端子的接地放电綫，將被試品接到 T_1 的高压端子上，接綫应尽可能短。

(2) 根据安全規程，作好安全措施。

(3) 檢查自耦变压器应在零位。 K_4 接触应良好。

(4) 合上 K_3 ，再合上 K_2 ，則灯絲发亮。

(5) 在合上 K_2 約經半分鐘后，合上 K_1 。

(6) 把微安計量程放到最大，然后打开 K_4 ，观察微安計是否有指示。如果看不清楚，則可以將微安計的量程逐漸变小，使它达到最灵敏为止。如果在这时仍沒有指示，則表示回路工作正常，可以升电压进行試驗。

假如 T_1 还没有升电压而微安計就有很大的指示数，那就表示回路工作不正常，可能有短路存在，应仔細檢查后再进行

試驗。

(7)用 T_2 升电压到所規定試驗电压的 $\frac{1}{2}$ ，如沒有发现不正常現象，則經過一分鐘即可打开短路开关 K_1 ，进行讀数，讀完后再合上。

(8)逐級升高电压到規定試驗电压值的 $\frac{3}{4}$ 、 $\frac{3}{4}$ 、 $\frac{3}{4}$ ，根据第(7)条同样方式，讀取各电压下的泄漏电流值。

(9)試完之后，自耦变压器 T_2 退回到零位，拉开 K_1 ，再拉开 K_2, K_3 ；断开电源后，用放电棒把被試品进行放电，放电時間不可少于一分鐘，对电容器、電纜、发电机等均不可少于三分鐘。放电时应通过电阻器放电。

不允許以手拿接地綫进行放电，这样做是很危險的，即使不能通过电阻放电，也得把接地綫挂在絕緣棒上进行操作。

(10)試完一相之后，再依上述步驟对其余各相进行試驗。

(11)試完以后，記下下列数据。

日期	試驗地点	試驗者
被試品名牌	裝置地点	編 号
被試品溫度	室 溫	气候情况
其他:		

第四章 試驗結果的判斷

在对某一电力設備进行了泄漏試驗之后，必需把試驗所得的結果进行判別，以了解設備的絕緣情况，并决定下一步工作应如何进行。

但是泄漏試驗是屬于一种比較性試驗，試驗所得到的結果数据一般只作为参考数字而不作为絕對标准。因此，当試驗結

果判定为絕緣有缺陷时，不能就禁止設備投入运行，而必需結合現厂的具体情况条件来决定，例如是否有备品、是否有条件立即进行檢修、缺陷是否严重等，并結合其他絕緣保安試驗項目来进行比較，然后决定处理办法。

对泄漏試驗結果的判断方式一般有下列几种：

(1) 与規格相比較。

規格就是試驗标准，是积累了許多經驗之后才制訂出来的，是能說明絕緣水平条件的。因此，如果某一种电力設備具有一定的規格时，那就应把試驗結果和規格相比較，这也是最簡單的判断法。

但是，对于电力設備的絕緣來說，有泄漏电流規格的极少，这是因为决定泄漏电流大小的因素太多的緣故。所以只依靠規格来判断結果是靠不住的，必需結合其他比較性的判断方法。

(2) 將各相的泄漏电流进行比較，或者和同一类型設備的泄漏电流相比較。

对于三相可以分开測量的电力設備，最好的判断方法就是比較各相的試驗結果数据。因为三相既然同属于一个設備內，那末他們所处的自然条件一定是一样的，如果絕緣没有什么缺陷，則泄漏电流的大小三相也应基本上一致。如果絕緣有缺陷，則也不可能三相都会有同样程度的缺陷。所以如果泄漏試驗发现三相中那一相泄漏电流特別大，則就表示这一相的絕緣有缺陷。

比較三相泄漏电流不对称程度的叫不对称系数，就是三相間最大的和最小值的比例。电力电纜就是应用这一方法判別的。

如果是單相的設備，或者是三相不能分开測量的設備，如电力变压器等，就不能用上述方法来判断了。对于这些設備可

用同一类型的設備試驗結果来相比較，但是因各單个設備所存在的条件不同，所以这一方式并不十分有效。

(3) 根据泄漏电流和电压的上升曲綫来比較。

泄漏电流与电压的关系曲綫的上升情况，可以說明絕緣材料在高电压作用下所表現的性能。如果泄漏电流与电压的关系是一条直綫，那就說明絕緣沒有严重缺陷；但如果在电压上升时，泄漏电流上升得更多，則就表示絕緣不太良好。如果泄漏电流是急剧的上升，則表示絕緣是有缺陷的。

不过用这一方法来判断結果也有一定的困难，因为影响泄漏电流急剧上升的因素較多，同时一般泄漏試驗所加的电压并不太高，沒有很明显的曲綫形狀。

几乎所有电力设备的泄漏試驗曲綫都是电压愈高，曲綫愈陡，这并不能說明絕緣內部有缺陷，大都是因为电压高时，联接导綫等发生电暈放电，而使泄漏电流急剧增加的緣故。

所以这种判断法，只在原理上是成立的，而在实际工作时应用不多。

(4) 和过去的試驗結果相比較。

在实际工作中，大多采用这个方法来判断絕緣的优劣。

一般的电力设备，每年皆需进行絕緣保安試驗；如果設備的絕緣在运行过程中沒有变化，則历次的試驗結果應該是相类似的。当設備的絕緣性能发生变化时，泄漏电流試驗結果亦將发生变化。所以对照历次試驗結果就可以看清絕緣的变化怎样。

为了判断結果而要檢查历年历次的試驗报告是太費事了，但是比較历次試驗結果这一工作又非常重要，所以應該在現厂內建立电力设备的絕緣保安試驗卡片，卡片上分門別类地記錄着历次試驗的結果，以便随时查看。

結論：

上述四种判断结果的方法，主要是供工作者参考，并不一定須按上述方式进行判別。对于电力设备来说，进行泄漏試驗不如交流耐压試驗那样可以作出肯定的結論，因为泄漏試驗是一种比較性試驗，試驗結果仅可作为参考，試驗的目的仅在于了解絕緣內部变化的大致狀況，以便进一步訂出处理办法。

第五章 泄漏电流和溫度的关系

几乎所有的电力设备，在同样的泄漏試驗电压下，当被試品的溫度增加时，泄漏电流也增加。这种情况，正和电力设备的絕緣电阻与溫度的关系一样。电力设备的种类多，絕緣情况不一样，因此泄漏电流和溫度的关系特性也就不一定；即使是同一种电力设备，也会因所处的自然环境不同而使泄漏电流与溫度的关系不一样。到现在为止，还没有找到一个可以換算不同溫度下的泄漏电流的有效公式。

某些書上曾列出把在各种溫度 t 下測得的泄漏电流換算为 75°C 时泄漏电流的公式，如 $\mu A_{75^{\circ}\text{C}} = \mu A_t \times 1.6^{\frac{75-t}{10}}$ 。應該說，这个公式实际上沒有使用价值，我們多次試驗換算，結果都是不准。不但不能說明問題，有时还会帶來不必要的麻煩。

由于在不同溫度下測得的泄漏电流不一样，所以对电力设备进行試驗后而要把結果和以前的試驗結果进行比較时，就必需在同样情况下：主要是在同样的溫度下来相互比較才有意义。但不同溫度下試驗的結果又不便換算，这就要求各次試驗應該在同一溫度下进行，或者至少是在类似的溫度下进行才比