

怎样測量絕緣电阻

史 建 圻編著



水利电力出版社

內 容 提 要

本書的主要內容，是說明試驗絕緣的具体操作方法和試驗時應該注意的一些問題，同時還說明了几个特殊的測量絕緣电阻的方法和對測量結果的判斷等。

本書適合具有高小文化程度的發電廠電氣車間工人和工業企業的電氣工人閱讀。

怎样測量絕緣电阻

史 建 圻編著

*

372D140

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可証出字第105號

水利電力出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{16}$ 開本*1 $\frac{1}{2}$ 印張*40千字

1956年6月北京第1版

1959年4月北京第3次印刷（11,221—16,456冊）

統一書號：T15143·29 定價（第9類）0.26元

序 言

一切電力設備，它們的內部一定都有絕緣材料。電力設備在長期運行中，絕緣材料因為受到外來的和內在的各種原因的影響，就會逐漸趨於損壞。外來的原因如潮氣、灰塵的侵入而產生腐蝕；內在的原因如高溫高電場的影響等。

促使絕緣材料漸漸損壞的因素是累積起來的，同時損壞的過程是會加快的，例如絕緣材料受潮後，如果不及時處理，就會越來越潮，一直到腐蝕損壞為止。這些因素有一部分是可以防止的，如潮氣和灰塵的侵入，若能在發現後及時消除，可以防止絕緣材料的損壞。但有一部分是無法防止的，如高電場的作用。

電力設備的損壞，對整個國民經濟造成的損失有時是無法估計的，因為電業的事故常常牽連到各個工業生產部門。那麼怎样才能做到安全發電和供電呢？關於這方面的方法是很多的；如加強對電力設備絕緣的檢查就是一種重要的方法，其次如通過各種試驗的方法來了解與判斷絕緣材料的情況。如果發現有毛病時，立即加以處理，這就可以防止電力設備的損壞。

本書的目的是說明試驗絕緣的方法（內容主要是談操作方法和應該注意的幾個條件），以及說明幾個特殊的測量絕緣電阻的方法和對測量結果的判斷等。

編著者 1956年北京

目 錄

序 言

第一節	絕緣的意義和絕緣材料的分類·····	3
第二節	絕緣電阻的一般情況·····	5
第三節	關於測量絕緣電阻的概念·····	6
第四節	表面絕緣電阻和體積絕緣電阻·····	8
第五節	絕緣電阻和溫度的關係·····	9
第六節	絕緣材料的吸收特性和吸收比試驗·····	12
第七節	搖表的構造·····	16
第八節	絕緣試驗和吸收試驗應注意的幾點·····	22
第九節	特殊條件下絕緣電阻的測量·····	38
第十節	試驗結果的判斷·····	52
第十一節	各種電力設備的參考規格·····	54

附 錄

第一節 絕緣的意義和絕緣材料的分類

在我們日常工作中所見到的電力設備，如發電機、變壓器、電動機、輸電綫路等。它們的構成，簡單的說來，都是用導電的和絕緣的兩種材料作成。

只用導電材料，決不能造成一件完整的電力設備。就以電機的綫圈為例，綫圈是用銅或鋁導綫一圈圈地繞成的，在一圈和另一圈之間，絕對不允許電流隨便流過，必須限制電流只能在導綫中流動。假使電流由一層綫圈直接通到另外一層綫圈，這就是“短路”。我們知道，電力設備的綫圈假如短路的話，在運轉時是要燒壞的。要防止短路，就得在導綫的四周包上一層不導電的材料，使電流沒有空子可鑽，而只能在我們所允許的綫路中通過。這種不導電的東西，就叫做絕緣材料。從這裡可以說明，沒有絕緣材料是不能構成一個完整的電力設備的。

在電力設備製造工業中，應用的絕緣材料的種類很多。以形態來分，有固體、膠體、液體、氣體等。空氣是氣體絕緣材料中應用最廣的，其他還包括氮氣、氬氣等，不過這些應用得很少。液體絕緣材料用得最廣的是變壓器油和電纜油等。膠體絕緣材料在電力工業中應用的有：在澆灌電纜接綫盒、套管等用的絕緣混合物、瀝青等。固體絕緣材料的種類更多，在電工上的分類如表1所示。

在一种电力設備內，常需用到好几种絕緣材料。

电机絕緣材料的等級分类

表 1

等 級	代表符号	材 料 名 称
零級	O	沒有浸过絕緣漆的有机体絕緣材料，如絲、棉、紗、布、紙等纖維性絕緣材料
甲級	A	用絕緣漆浸漬过的棉、絲、紙等纖維絕緣材料，以及电木、膠木、膠木板、紙板等纖維層压制品与珐瑯漆等 这些浸漬过的絕緣材料，必須全部都浸漬过絕緣漆，如果只在表面上塗了一層，則仍不算甲級而应作为零級
乙級	B	应用耐热的有机物膠合剂膠合的或浸漬的云母制品(如云母帶、云母片、云母板、云母紙等)，石棉制品(如石棉帶、石棉紙、石棉板等)，以及玻璃纖維制品 有时为了增加絕緣材料的强度而由甲級絕緣材料和乙級絕緣材料混合浸漬时，如果仍能承受乙級絕緣材料的允許使用溫度的話，則也可認為是乙級絕緣材料
丙級	C	不用任何膠合剂相膠合的石英、石棉、云母、玻璃及玻璃纖維、陶瓷等純粹的無机物絕緣材料
乙丙級	BC	所用的絕緣材料基本上和乙級一样，但用比乙級耐高溫度的絕緣膠合剂膠合的絕緣材料
丙乙級	CB	与乙級絕緣材料相同，但用耐更高溫度的膠合剂(如有机矽漆)膠合的絕緣材料 CB 級絕緣材料內不得含有任何 A 級絕緣材料的成分

在表 1 中的各級絕緣材料，以甲、乙、丙三級应用最多，其他三級应用比較少，只在特殊条件下才採用。

浸油的电力变压器所用的絕緣屬於甲級，低压电动机也都用甲級絕緣，交流發電机的靜子綫圈都用乙級絕緣，

高压电动机、調相机等，也有用乙級絕緣的，架空綫路、母綫、刀閘等都用丙級絕緣。

第二節 絕緣电阻的一般情况

絕緣就是不導电的意思，不導电的材料就叫絕緣材料。理想的絕緣材料，應該是一点电也通不过去的，但是，事实上几乎沒有一种絕緣材料是絕對通不过电的。任何絕緣材料，只要在材料的兩端加上足够的电压，总会有一些电流通过的，这电流就叫做通过絕緣体的洩漏电流。加上的电压愈高，洩漏电流就愈大。

良好的絕緣材料，即使加上的电压相当高，能通过的洩漏电流是非常少的，少到只能用微安（一微安等於一安培的百万分之一，符号为 μA ）來計算。

絕緣材料在电压的作用下，能通过一些电流的性能，就反映出它的电阻大小，这一电阻叫做絕緣材料的絕緣电阻。即使在很高的电压下，絕緣材料也只容許通过極少量的洩漏电流，所以絕緣材料的絕緣电阻总是非常大的，要用百万欧姆($M\Omega$)來做測量的單位。絕緣电阻和洩漏电流間的关系仍可用最普通的欧姆定律來表示：

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

式中 U ——加在絕緣材料兩端的电压(伏)；

μA ——通过絕緣材料的洩漏电流(微安);

$M\Omega$ ——絕緣电阻(百万欧姆)。

絕緣材料的絕緣电阻不是一个永远不变的数值，它会受到很多外界条件和本身的影响。例如絕緣材料吸收了水分，或在表面上附着灰塵和油垢等物，它的絕緣电阻就要大大降低。如果絕緣电阻降得很低的话，絕緣材料就将失去絕緣的能力，而变成导电材料了。

絕緣电阻的大大降低，表示絕緣材料已經变质和劣化，即使还没有完全变成导体，但在运行时期中，也很容易被正常使用的电压所击穿而造成事故。从这一点来看，經常檢查电力设备的絕緣电阻，对鑑定电力设备内部的絕緣情况有着很重大的意义。

由於測量絕緣电阻的方法非常簡單，收到的效果却相当大，所以現在已成为測定电力设备絕緣是否良好的最常用的方法。

測量絕緣电阻最簡便的方法是用搖表(絕緣測定器)，另外还有一些其他特殊的測定方法，在后面將會詳細談到。

第三節 關於測量絕緣电阻的概念

良好而干燥的絕緣材料，它的絕緣电阻是相当高的。但假如絕緣内部吸收了一些水分，或表面積了一些灰塵髒

物，或因長期使用而陈旧變質時，絕緣電阻就要降低。關於絕緣電阻降低的一些原因，簡單說明如下：

最純淨的水，是良好的絕緣體，但水里如果溶解了一些雜質之後，它就變成一種導體。我們常在水里放一些食鹽，做成水電阻，就是這個道理。天然的水中都是或多或少的含有雜質，所以都是能導電的。如果這些能導電的水分侵入了絕緣材料的內部，就等於在原本的絕緣電阻上並聯了一個水電阻，給電流多了一個通路，總的電阻當然要大大降低了。

絕緣材料只要吸收了極少量的水分，就會使絕緣電阻大大降低，所以根據絕緣電阻的大小來判斷絕緣材料是否受潮是很有效的。

除了絕緣內部吸水使絕緣電阻降低之外，電力設備絕緣材料的表面，在運行過程中都可能積上一些灰土油污等髒物，這些髒物，本身大多能夠導電。表面上積有這些導電的雜質，也相當於並聯了一個電阻，這無疑地就要降低絕緣電阻。

這些雜質都只積在絕緣材料的表面，一擦就可去掉，所以表面髒污完全不能肯定絕緣材料的絕緣性能不良。在測定絕緣電阻時，應該設法將表面的影響撇開。

電力設備在長期運行中，絕緣材料也長期受到高溫、震動和電場的作用。日久之後，絕緣材料就會陈旧，如焦化、變脆、開裂等，絕緣電阻也隨着減低，不過並不怎樣顯著。經驗證明，測定絕緣電阻是不能有效地確定絕緣的

陈旧和脆化等情况的。經過長期运行而已經陈旧的絕緣材料，在耐压試驗时很可能被击穿，但在測量絕緣电阻时，只要絕緣是干燥的並且表面是干淨的，它的絕緣电阻仍然相当高。这时就須用其他的試驗方法來判断，例如測定介質損失角与進行耐压試驗等。

絕緣材料如果有碰伤、擦破或开裂等情形时，也要通过其他試驗才能有效地發現出來。只有在这些外伤非常嚴重的时候，才能在測定絕緣电阻时略微表現出一点征象，如搖表指針晃动不穩等。一般說來，測定絕緣电阻不能判断絕緣体是否受到外伤。

以上所談的几点可以总结如下：

- ①測定絕緣电阻可以有效地察覺出絕緣是否受潮；
- ②絕緣材料表面的髒污、潮湿不能說明絕緣本質如何，所以測量时必须將表面的髒污、潮湿設法除去；
- ③測定絕緣电阻对判断絕緣材料是否陈旧、变脆或受到外伤、开裂等，沒有多大帮助。这些弱点都必须通过其他試驗才能發現出來。

第四節 表面絕緣电阻和体積絕緣电阻

絕緣材料的絕緣电阻應該看做由兩部分並联而成的。一部分是表面的絕緣电阻，这与絕緣体表面的情形及外界的气候条件等有关；另一部分則是表示絕緣內部情况的絕

緣电阻，这一部分說明絕緣材料内部的实在情形，而与絕緣体的温度及是否潮湿有关。

因为表面絕緣电阻是受到很多外界条件的影响而改变的，所以不能說明絕緣材料内部的情形。因此，当表面絕緣电阻的作用相当大时，就得設法把表面的一部分絕緣电阻撇开到测量表計指示以外，而不經過指示仪表。測量絕緣电阻用的搖表都有这一專門撇开表面絕緣电阻用的接綫头子，它的作用原理將在搖表的構造中談到。

表示絕緣材料内部情况的絕緣电阻又叫体積电阻，也正是我們需要測定的电阻。这里也可說明为什么要除去表面絕緣电阻，因为表面絕緣电阻的存在会影响測量体積电阻的正确性。

絕緣电阻与温度的关系非常大，温度上升，則絕緣电阻下降，而且下降得很顯著。因此，当我們在測定絕緣电阻时，應該特別注意被試物的温度，必須准确地把它量出。在以試驗的結果來比較絕緣物是否受潮时，應該取在同样温度下的絕緣电阻数值，或者把在不同温度下測出的絕緣电阻，用公式換算到同一温度下的数值來互相比較。

第五節 絕緣电阻和温度的关系

一般电机的正常运轉温度，大概是 75°C 左右，絕緣电阻最好在这一温度下測定，或者換算到这一温度时的数

值。

絕緣电阻和溫度的关系非常复雜，到現在为止，还没有一个適用於各种溫度的准确公式。苏联电气試驗專家富列斯特坦特同志，曾經介紹苏联某些电机制造厂应用下列公式來換算各种溫度下的絕緣电阻：

$$R_2 = R_1 e^{\alpha(t_1 - t_2)},$$

式中 R_2 ——在溫度为 t_2 时的絕緣电阻；

R_1 ——在溫度为 t_1 时的絕緣电阻；

α ——由絕緣材料种类决定的常数；

t_1 及 t_2 ——測定时的溫度；

$e = 2.718$ 。

甲級絕緣材料的 α 数值大約等於 0.025，乙級和丙級絕緣材料的 α 直到現在还没有确定。

甲級絕緣材料的絕緣电阻要換算到 75°C 时，上面的公式可以寫成：

$$R_{75^\circ\text{C}} = R_t \cdot K_t.$$

式中 $K_t = e^{0.025(t-75)}$ 。

R_t ——在溫度为 $t^\circ\text{C}$ 时測出的电阻；

$R_{75^\circ\text{C}}$ ——換算到 75°C 时的絕緣电阻；

t ——实际測量时电力設備絕緣体的溫度；

K_t ——随溫度而变的系数。

上述这一公式必須用計算尺才能計算，用筆算是算不出來的。为了我們在計算时方便起見，在表 2 中列出各

种测定温度 t 时系数 K_t 的数值，供作参考。

甲級絕緣材料絕緣电阻温度系数 K_t 换算表

(换算为75°C时的值)

表 2

温度°C	系数 K_t =	温度°C	系数 K_t =	温度°C	系数 K_t =
0	0.1528	36	0.3780	72	0.928
2	0.1616	38	0.3970	74	0.975
4	0.1697	40	0.416	76	1.025
6	0.1778	42	0.439	78	1.078
8	0.1880	44	0.461	80	1.133
10	0.1975	46	0.485	82	1.191
12	0.2068	48	0.510	84	1.252
14	0.2180	50	0.536	86	1.316
16	0.2286	52	0.563	88	1.384
18	0.2400	54	0.592	90	1.455
20	0.2526	56	0.622	92	1.53
22	0.2662	58	0.653	94	1.606
24	0.2798	60	0.687	96	1.69
26	0.2940	62	0.723	98	1.75
28	0.3090	64	0.760	100	1.87
30	0.3250	66	0.798	102	1.96
32	0.3410	68	0.840	104	2.06
34	0.3592	70	0.88	106	2.17

上述公式虽經專家介紹，但还没有得到公認而肯定下來，因此，只在不得已时，才可試用。

关于絕緣电阻随温度而变化的这一特性，可以簡單地作如下的解釋：絕緣材料内部总是含有一些水分，这些水分是形成極細的纖維狀綫条而存在的。当温度上升时，水

分因热膨胀，纖維也就伸長，使彼此之間互相联結，通过絕緣內部的洩漏电流，就以这纖維狀水分作桥樑而使洩漏电流容易通过，因此絕緣电阻就降低了。

絕緣材料內部含有各种化学成分，其中也包括一些能够溶解於水中的鹽类。当温度愈高时，一般物質在水中能够溶解得愈多。水里溶解的鹽分愈多，則电阻愈低，这也是温度升高使絕緣电阻降低的一个原因。

总的說來，絕緣材料的温度特性是当温度愈高时，絕緣电阻愈低。

第六節 絕緣材料的吸收特性和

吸收比試驗

在測量容量比較大的电力設備的絕緣电阻时，可以看到絕緣电阻的数值和通电的时间有关。通电的时间愈長，絕緣电阻的讀数就愈高。这种現象，叫做絕緣材料的吸收特性。

这种現象簡單的解釋如下：电力設備中的絕緣材料是在導体和外壳之間的，而外壳也是導体。这样，在兩層導体中間夾着一層絕緣材料，就能產生电容器的作用：具有充电和放电的性能。当开始通电时，除了通过絕緣材料的洩漏电流之外，还有电容器的充电电流(包括絕緣材料的吸收电流)，於是电流就比較大，搖表量出的絕緣电阻值

也就比較低。过了一定的時間后，电容器上的充电够了，通过絕緣材料就只有洩漏电流，因此搖表量出的絕緣电阻值就比較高，这是吸收特性最簡單的解釋。

电力設備的絕緣电阻，應該是搖表指針穩定后的数值。但大电容的电力設備(如發电机、電纜等)的充电現象長达几十分鐘，用手搖的搖表來相当均匀地搖几十分鐘是不可能的。为了避免因为讀表的时间不一致而得出的絕緣电阻数值不一样，就需要把讀表的时间統一起来。目前我們把这个時間定为一分鐘，就是把搖表从开始搖轉起經過一分鐘后所指示的数值算作設備的絕緣电阻。

絕緣电阻随時間而变化的特性既然叫做絕緣材料的吸收特性，絕緣电阻和時間的关系曲綫就叫做絕緣吸收特性曲綫。利用絕緣的吸收特性也可以判断电机的

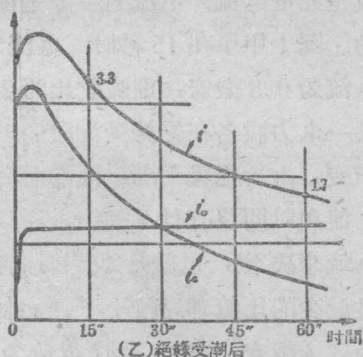
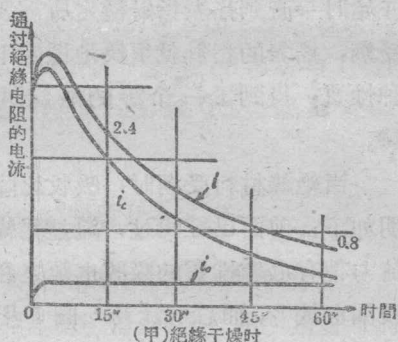


圖 1

絕緣是否潮濕。有時用這種判斷的方法，比用絕緣電阻來判斷電機的絕緣是否受潮還要好一些。這一試驗，是出於蘇聯的先進經驗並在實踐中已證明確實有效，這是應該着重指出的。

經驗證明，同樣的電力設備，如果絕緣愈乾燥，則從開始時一直到搖表指針穩定所需要的时间愈長；如果絕緣受潮，搖表的指針就很快地穩定下來。根據絕緣材料的這種性質，得到了一個新的絕緣試驗法——絕緣的吸收試驗。

當絕緣材料受潮時，吸收比降低，這種現象，簡單的說明如下：前面已經說過，通過絕緣材料的電流包括電容電流與帶有電容性質的吸收電流之和 i_c ，以及漏電所造成的洩漏電流 i_l ，而總電流為 i 。圖 1 甲是絕緣材料乾燥時通過的電流曲綫。這時洩漏電流 i_l 的成分很少，總電流差不多就是充電電流；電流的下降是根據充電電流的特性來決定的。圖 1 甲中在 15 秒時，電流為 2.4 微安，在 60 秒時，電流為 0.8 微安，則吸收比為 $2.4 \div 0.8 = 3.0$ 。圖 1 乙是同一電力設備在絕緣受潮時的電流曲綫。充電電流 i_c 假定不變，由於絕緣受潮，洩漏電流 i_l 就增加了，又因為洩漏電流和時間沒有什麼關係，所以總電流 i 主要仍是由洩漏電流來決定，也就是說和時間有關係的電流減少了，不過減少的比值卻比較小了。如圖 1 乙中，在 15 秒時電流為 3.3 微安，在 60 秒時電流為 1.7 微安，則吸收比為 $3.3 \div 1.7 = 1.94$ 。從這裡就可看到，絕緣材料受潮後，

因为沒有時間性的洩漏电流增加，所以吸收比就減小。

以上为了說明簡單起見，把充电电流当作一个不变的数來看，事实上，絕緣材料在受潮后，充电电流中的吸收电流是要減少的。絕緣材料在受潮时，吸收比降低的原因很多，以上所談的只是最簡單的一种。

吸收試驗的目的就是要求出在兩種時間下絕緣电阻的比值。現在規定的吸收比分兩種：一种是 60 秒鐘与 15 秒鐘时絕緣电阻的比值；另一种是 10 分鐘与 1 分鐘时絕緣电阻的比值。就是：

$$\text{吸收比} = \frac{R_{60''}}{R_{15''}}; \text{ 或吸收比} = \frac{R_{10'}}{R_1}.$$

10 分鐘与 1 分鐘的吸收比只在备有特殊的吸收搖表（如电动搖表或真空管式絕緣試驗器）时才採用。用普通的手动搖表只能作 60 秒鐘与 15 秒鐘的吸收比試驗，因为手动搖表不可能連續而均匀地搖轉 10 分鐘。

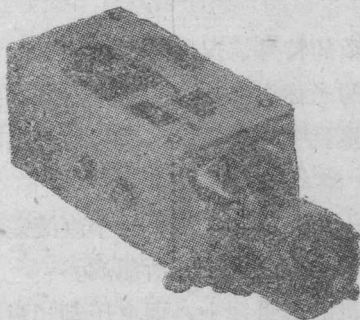


圖 2 电动的吸收搖表