

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 474.2 — 2006

代替 DL 474.2 — 1992

现场绝缘试验实施导则 直流高电压试验

Guide for insulation test on site
DC high voltage test

2006-05-06 发布

2006-10-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言..... 14

1 范围..... 15

2 规范性引用文件..... 15

3 直流高电压的产生..... 15

4 直流高电压试验的接线..... 18

5 直流高电压的测量..... 19

6 直流泄漏电流的测量..... 19

7 直流高电压试验..... 19

DL/T 474.2 — 2006

前 言

本标准是根据《国家发展和改革委员会关于印发 2005 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业[2005] 739 号文）的安排，对 DL 474.2—1992 进行的修订。

本标准与原标准相比主要变化如下：

——将原标准中对直流高电压测量准确度的要求由测量误差改为容许偏差，与 GB/T 16927.1~2 高电压试验技术相一致；

——增加了直流成套装置校验的内容，包括电压电流特性、稳定性和校验周期；

——微安表的接线改为更适合现场试验的接线图；

——对原标准中的高压保护电阻器绝缘强度作了新规定，以适应于不同形式的保护电阻；

——将原标准中“脉动因数”规范为“纹波因数”；将原标准中“脉动电压”规范为“纹波”，与 GB/T 2900.19 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合相一致。

本标准实施后代替 DL 474.2—1992。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业高电压试验技术标准化委员会归口并负责解释。

本标准起草单位：湖北省电力试验研究院、武汉大学、华北电力科学研究院有限责任公司。

本标准主要起草人：张致、关根志、邓春。

本标准 1992 年 11 月 3 日首次发布，本次为第一次修订。

现场绝缘试验实施导则

直流高电压试验

1 范围

本标准提出了现场直流高电压绝缘试验所涉及的试验电压的产生、试验接线、主要元件的选择和试验方法等一些技术细则和注意事项，贯彻执行有关国家标准和 DL/T 596 的相应规定。

本标准适用于在变电所、发电厂现场和在修理车间、试验室条件下对高压电气设备绝缘进行直流耐压试验和直流泄漏电流试验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 16927.1	高电压试验技术 第一部分：一般试验要求（eqv IEC 60060—1:1989）
GB/T 16927.2	高电压试验技术 第二部分：测量系统（eqv IEC 60060—2:1994）
DL/T 596	电力设备预防性试验规程

3 直流高电压的产生

3.1 对试验电压的要求

直流电压是指单极性（正或负）的持续电压，它的幅值用算术平均值表示。由高压整流装置产生的电压包含有纹波的成分。因此，高压绝缘试验中使用的直流电压，是由极性、平均值和纹波因数来表示的。

根据不同试品的要求，试验电压应能满足试验的极性和电压值，还必须具有充分的电源容量。纹波因数是指纹波幅值与其直流电压算术平均值之比。纹波幅值是指纹波的最大值与最小值之差的一半。在输出工作电流下直流电压的纹波因数 S 应按式（1）计算，且 S 不大于 3%（见图 1），即：

$$S = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2U_d} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

U_{\max} ——直流电压的最大值；

U_{\min} ——直流电压的最小值；

U_d ——直流电压的平均值。

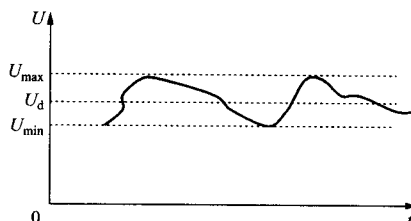


图 1 纹波波形

在现场直流电压绝缘试验中，为了防止外绝缘的闪络和易于发现绝缘受潮等缺陷，通常采用负极性直流电压。

DL/T 474.2 — 2006

3.2 产生直流高电压的回路和主要元件的选择

3.2.1 产生直流高电压的回路

产生直流高电压，主要是采用将交流高电压进行整流的方法。普遍使用高压硅堆作为整流元件。电源一般使用工频电源；对于电压较高的串级整流装置，为了减轻设备的重量，也广泛采用中频电源。

获得直流高电压的回路很多，可根据变压器、电容器、硅堆等元件的参数组成不同的整流回路。现场常用的基本回路有半波整流回路、倍压整流回路和串级整流回路。表 1 给出了这些回路的接线图、直流电压及其纹波因数。

表 1 产生直流高电压的回路

整流型式	接线图	直流电压	纹波因数	符号说明
半波整流		$U_d = U_m - \frac{I_d}{2Cf}$	$S = \frac{I_d}{2CfU_d}$	<p>T——试验变压器； C——滤波电容器； D——整流硅堆； R——保护电阻器； U_d——直流电压（平均值）； U_m——整流电压峰值； I_d——被试品直流电流（平均值）； f——电源频率； S——电压纹波因数； n——发生器串接级数</p>
倍压整流		$U_d = 2U_m - \frac{3I_d}{2Cf}$	$S = \frac{I_d}{2CfU_d}$	
串级整流		$U_d = 2nU_m - \frac{I_d}{6Cf} \cdot (4n^3 + 3n^2 + 2n)$	$S = \frac{n(n+1)I_d}{4CfU_d}$	

注：纹波因数 S 的计算式只适用于正弦波电源。

3.2.2 主要元件的选择

3.2.2.1 保护电阻器

为了限制试品放电时的放电电流，保护硅堆、微安表及试验变压器，高压侧保护电阻器的电阻值可取

$$R = (0.001 \sim 0.01) \frac{U_d}{I_d} \tag{2}$$

式中：

R ——高压侧保护电阻器的电阻值， Ω ；

U_d ——直流试验电压值，V；

I_d ——试品电流，A。

I_d 较大时，为减少 R 发热，可取式中较小的系数。 R 的外绝缘应能耐受幅值为 U_d 的冲击电压，并留有适当裕度。推荐参照表 2 所列的数值选用。

表 2 高压保护电阻器参数

直流试验电压 kV	电阻值 M Ω	电阻器表面绝缘长度不小于 mm
60 及以下	0.3~0.5	200
140~160	0.9~1.5	500~600
500	0.9~1.5	2000

DL/T 474.2 — 2006

高压保护电阻器通常采用水电阻器，水电阻管内径一般不小于 12mm。采用其他电阻材料时应注意防止放电短路。

3.2.2.2 硅堆

高压硅堆上的反峰电压使用值不能超过硅堆的额定电压，其额定整流电流应大于工作电流，并有一定的裕度。

在利用硅堆整流而其单个的电压不够，需要采用多只串联的办法时，必须注意使其电压分布均匀。为此，通常宜采用并联电阻和电容的方法。从现场易于实现的角度来看，也可以仅并联均压电阻，其数值一般为硅堆反向电阻的 1/3~1/4。如按此值所选的电阻值过高而不易达到时，可适当减小为 1000MΩ。

3.2.2.3 滤波电容器

试验小电容量的试品并要求准确读取电流值时，例如测量带并联电阻的阀型避雷器电导电流时，应加滤波电容器。滤波电容器一般取 0.01μF~0.1μF。对于电容量较大的试品，如电缆、发电机、变压器等，通常不用滤波电容器。

对泄漏电流很小，并仅作粗略检查性的试验，如测量断路器支持瓷套及拉杆的泄漏电流，也可不用滤波电容器。

3.3 直流高压成套装置

3.3.1 直流高压成套装置的校验

3.3.1.1 高压电压测量装置的校验

直流高压发生器输出电压应经认可的直流高压标准测量装置校验，其测量的不确定度应不大于 3%。

3.3.1.2 高压侧电流测量装置的校验

高压侧电流回路中串接一块直流标准电流表进行校验，标准电流表的准确度应比高电压侧电流测量装置标称的准确度高两级，高电压侧电流测量装置的测量不确定度应不大于 0.5%。

3.3.1.3 短时稳定度

直流高电压发生器在开机 5min 内，输出电压的漂移值应不大于额定输出电压的 1%。

3.3.1.4 校验周期

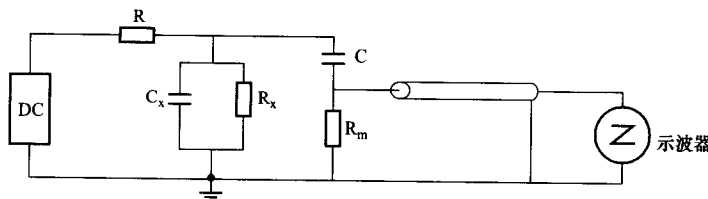
直流高压成套装置应每年校验一次。

3.3.2 纹波的测量

对现场搭建的直流高压试验回路要测量纹波系数。

3.3.2.1 用示波器测量纹波

图 2 中高电压电容器 C 隔离直流成分，应使 $R_m \gg 1/\omega C$ ，则纹波成分全部出现在 R_m 上，示波器显示 R_m 上的纹波。如果纹波成分比较大，可以在 R_m 上抽头，按一定的比例将一部分纹波送至示波器。



DC—高电压整流装置； C_x 、 R_x —被试品电容、电阻；C、R—电容器、保护电阻器； R_m —测量电阻

图 2 用示波器测量纹波

3.3.2.2 用标准电容器和整流电路串联测量纹波

将标准电容器与全波整流器及微安表串联，接到被测电压的两端（见图 3），纹波幅值 U_s 与流过标准电容器的整流电流平均值 I_s 的关系为：

$$U_s = \frac{I_s}{2Cf} \quad (3)$$

DL/T 474.2 — 2006

式中：
 C ——标准电容器的电容量；
 f ——纹波的基波频率。

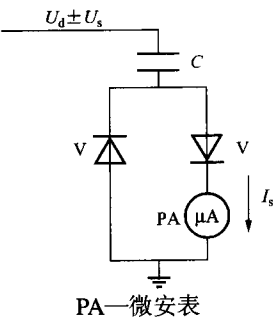


图3 用电容器和整流电路测量纹波

4 直流高电压试验的接线

4.1 微安表的接法

现场电气设备的绝缘有一端直接接地的，也有不直接接地的，微安表的接线位置视具体情况有下列数种接线（见表3）。

表3中序号1和2接线图测量准确度较高，宜尽量采用。序号3测量误差较大，宜尽量不采用，只有在测量条件受到限制时才采用。

表3 微安表的接线方式

微安表位置		序 号	试 验 接 线	符 号 说 明
微安表接在高压侧		1		DC—高电压整流装置； R—保护电阻器； C—滤波电容器； R _v —高值电阻器； PA1—毫安表； PA2—微安表； C _x —被试品
微安表接在低压侧	被试品对地绝缘	2		
	被试品直接接地	3		

4.2 微安表的保护

为了防止在试验过程中损坏微安表，微安表应加装保护，图4为其保护接线图。 L 、 C_m 和 C 用来延缓试品击穿放电的电流陡度，防止微安表活动线圈匝间短路或对磁极放电。其中串联电阻 r 为：

$$r = \frac{U_F}{I_{dH}} \times 1.2 \tag{4}$$

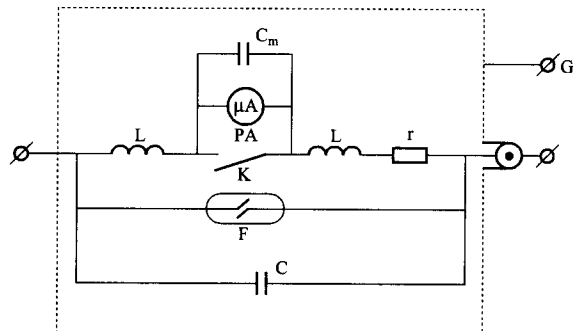
式中：

DL/T 474.2 — 2006

r ——串联电阻， $M\Omega$ ；
 U_F ——放电管放电电压，V；
 I_{dH} ——微安表满刻度值， μA 。

如果采用外接短路开关，一般只在读表时方才断开开关。

短路开关和微安表的接线必须正确，泄漏电流的引线必须先接到短路开关上，然后再用导线从短路开关上引到微安表，以避免试品击穿和试品放电时，烧坏微安表（见图 5）。



r —串联电阻； F —放电管； K —短路开关；
 L —电感（约 $10mH$ ）； C —旁路电容（ $0.5\mu F$ ）；
 G —屏蔽端子； C_m —保护电容（ $0.1\mu F$ ）； PA —微安表

图 4 微安表的保护接线图

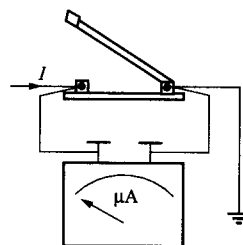


图 5 短路开关和微安表的接线

5 直流高压的测量

5.1 容许偏差

如果试验持续时间不超过 60s，在整个试验中试验电压的测量值应保持在规定电压值的 $\pm 1\%$ 以内，当试验持续时间超过 60s 时，在整个过程中试验电压测量值应保持在规定电压值的 $\pm 3\%$ 以内。

注：容许偏差为规定值与实测值之差，它与测量误差不同，测量误差是指测量值与真值之差。

5.2 对测量系统的一般要求和现场测量，应符合 GB/T 16927.1 和 GB/T 16927.2 的要求。

6 直流泄漏电流的测量

6.1 直流泄漏电流的测量

当直流电压加至被试品的瞬间，流经试品的电流有电容电流、吸收电流和泄漏电流。电容电流是瞬时电流，吸收电流也在较长时间内衰减完毕，最后逐渐稳定为泄漏电流。一般是在试验时，先把微安表短路 1min，然后打开进行读数。对具有大电容的设备，在 1min 还不够时，可取 3min~10min，或一直到电流稳定才记录。但不管取哪个时间，在对前后所得结果进行比较时，必须是相同的时刻。

6.2 消除杂散电流的方法

绝缘良好的试品，内部泄漏电流很小。因此，绝缘表面的泄漏和高压引线的杂散电流等都会造成测量误差，必须采取屏蔽措施。

对处于高压的微安表及引线，应加屏蔽。

试品表面泄漏电流较大时，应加屏蔽环予以消除。

如果采用的微安表接在表 3 序号 3 的位置的接线，试验装置本身泄漏电流又较大时，应在未接入试品之前记录试验电压各阶段的泄漏电流，然后在试验结果中分别减去这些泄漏电流值。

7 直流高压试验

7.1 试验条件

试验宜在干燥的天气条件下进行。

DL/T 474.2 — 2006

试品表面应抹拭干净，试验场地应保持清洁。

试品和周围的物体必须有足够的安全距离。

因为试品的残余电荷会对试验结果产生很大的影响，因此，试验前要将试品对地直接放电 5min 以上。

7.2 试验程序

直流耐压试验和泄漏电流试验一般都结合起来进行。即在直流耐压的过程中，随着电压的升高，分段读取泄漏电流值，而在最后进行直流耐压试验。

对试品施加电压时，应从足够低的数值开始，然后缓慢地升高电压，但也不必太慢，以免造成在接近试验电压时试品上的耐压时间过长。从试验电压值的 75% 开始，以每秒 2% 的速度上升，通常能满足上述要求。

7.3 试验结果判断

将试验电压值保持规定的时间后，如试品无破坏性放电，微安表指针没有向增大方向突然摆动，则认为直流耐压试验通过。

温度对泄漏电流的影响是极为显著的。因此，最好在以往试验相近的温度条件下进行测量，以便于进行分析比较。

泄漏电流的数值，不仅和绝缘的性质、状态，而且和绝缘的结构、设备的容量等有关，因此，不能仅从泄漏电流的绝对值泛泛地判断绝缘是否良好，重要的是通过观察其温度特性、时间特性、电压特性及长期以来的变化趋势来进行综合判断。

7.4 放电

试验完毕，切断高压电源，一般需待试品上的电压降至 1/2 试验电压以下，将被试品经电阻接地放电，最后直接接地放电。对大容量试品如长电缆、电容器、大电机等，需长时间放电，以使试品上的充电电荷放尽。另外，对附近电气设备，有感应静电电压的可能时，也应予以放电或事先短路。经过充分放电后，才能接触试品。对于在现场组装的倍压整流装置，要对各级电容器逐级放电后，才能进行更改接线或结束试验，拆除接线。

对电力电缆、电容器、发电机、变压器等，必须先经适当的放电电阻对试品进行放电。如果直接对地放电，可能产生频率极高的振荡过电压，对试品的绝缘有危害。放电电阻视试验电压高低和试品的电容而定，必须有足够的电阻值和热容量。通常采用水电阻器，电阻值大致上可用每千伏 $200\Omega \sim 500\Omega$ 。放电电阻器两极间的有效长度可参照高压保护电阻器的表面绝缘长度（见表 2）。放电棒的绝缘部分总长度不得小于 1000mm，其中自握手护环到放电电阻器下端接地线连接端的长度 l' 为 700mm，握手部分为 300mm，如图 6 所示。

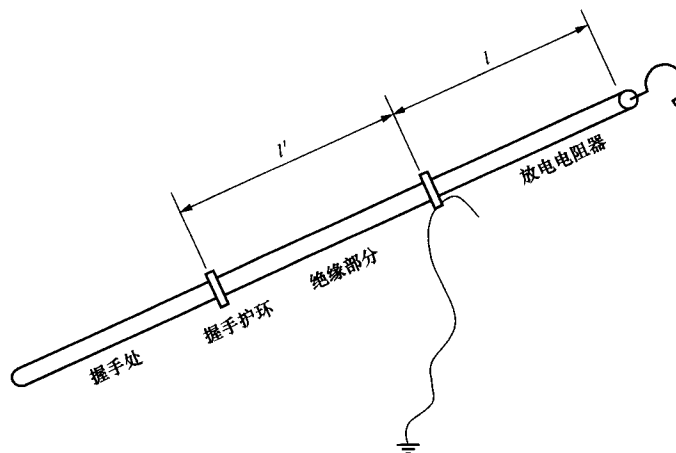


图 6 放电棒的尺寸