

DIANLISHEBEI
YUFANGXIN SHIYAN
JISHU
CONGSHU

电力设备预防性试验技术丛书

第八分册

许灵洁 编

绝缘油



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

214

870

电力设备预防性试验技术丛书

第八分册

绝 缘 油

许灵洁 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为进一步提高高压电气设备绝缘状况诊断的有效性和准确性,能反映每一设备的具体试验过程,结合工作实际经验和《电力设备预防性试验规程》的要求,特组织编写了这套《电力设备预防性试验技术丛书》,共8册。本套图书的特点是:①对每一设备的每一试验,均从试验目的、试验周期及判断标准、试验方法、试验注意事项及异常情况处理、结果分析判断等方面予以介绍;②精简试验原理及有关结构的讲解,细化试验步骤;③给出一些具体的试验范例,方便读者参照进行试验;④引入了实际工作中行之有效的新工艺和新方法;⑤附录中给出了规程中的相关条文,可便于查阅。

本书是《电力设备预防性试验技术丛书》中第八分册,共分3章,主要介绍了绝缘油的介电强度、介质损耗因数及其体积电阻率的电气特性,测量仪器的选择原则、试验步骤、测试要点、变压器油的质量标准及试验的意义。本书可供发、供电部门和电气设备制造单位从事高压设备试验技术和管理人员,以及各电力试验研究院(所)技术人员使用,也可供高校有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

绝缘油/许灵洁编. - 北京:中国电力出版社,2003
(电力设备预防性试验技术丛书;8)
ISBN 7-5083-1454-9

I. 绝… II. 许… III. 液体绝缘材料-电工试验
IV. TM214

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 019876 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003年5月第一版 2003年5月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 32开本 1.75印张 33千字
印数 0001—5000册 定价 5.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



《电力设备预防性试验技术丛书》

前 言

电力设备的绝缘预防性试验是保证设备安全运行的重要措施,是绝缘监督工作的基础。通过试验,可以掌握电力设备的绝缘状况,及时发现缺陷,进行相应的维护与检修,以免运行中的设备绝缘在工作电压或过电压作用下击穿,造成事故。为了进一步提高绝缘监督管理人员和高压试验人员技术业务素质,满足电力行业技术人员等级培训和岗位培训的需要,特组织编写了《电力设备预防性试验技术丛书》。

丛书的分册结构与《电力设备预防性试验规程》的章节对应,内容突出电力行业技术等级培训和岗位培训的特点,深入浅出,针对性、适应性较强,密切联系生产实际,反映现场新技术。本套图书的特点是:①对每一设备的每一试验,均从试验目的、试验周期及判断标准、试验方法、试验注意事项及异常情况处理、结果分析判断等方面予以介绍;②精简试验原理及有关结构的讲解细化试验步骤;③给出一些具体的试验范例,方便读者参照进行试验;④引入了实际工作中行之有效的新工艺和新方法;⑤附录中给出了预规中的相关条文,可便于查阅。全书共分8册:第一分册为《旋转电机》;第二分册为《电力变压器与电抗器》;第三分册为《互感器与电容器》;第四分册

为《开关设备》；第五分册为《套管与绝缘子》；第六分册为《电线电缆》；第七分册为《避雷器与接地装置》；第八分册为《绝缘油》。

本书是《电力设备预防性试验技术丛书》中的第八分册，由许灵洁编写。全书共分3章，主要介绍了绝缘油的介电常数、介质损耗因数记忆体积电阻率的电气特性，测量仪器的选择原则、试验步骤、测试要点，变压器的质量标准及试验的意义，内容上注重从操作技能出发，据此能有效地指导试验。

本书由华东电力试验研究院周建国主审。在收资、编写和审查过程中，还得到很多单位的领导、专家的大力支持与热心帮助，在此表示衷心感谢。

本书虽经数次审查修改，但由于编者经验所限，在编写中难免有疏漏之处，诚恳希望广大读者提出修改意见，并在教学、实践中进行调整和补充，使其更加完善。

编 者

2003年4月



《电力设备预防性试验技术丛书》

目 录

前言

第一章

绝缘油的介电强度试验 1

第一节 绝缘油的介电强度特性 1

第二节 绝缘油的介电强度测定方法 5

第二章

绝缘油的介质损耗因数试验 14

第一节 绝缘油的介质损耗因数特性 14

第二节 绝缘油介质损耗因数的测试 方法 17

第三章

绝缘油体积电阻率的测量 27

第一节 绝缘油体积电阻率特性 27

第二节 绝缘油体积电阻率的测量 方法一 29

第三节 绝缘油体积电阻率的测量 方法二 31

第四节 绝缘油的介电强度、介质 损耗因数和体积电阻率的 三者关系 38

附录 A DL/T 596—1996《电力设备预防性 试验规程》相关条文摘录	40
参考文献	47



第一章

绝缘油的介电强度试验

第一节 绝缘油的介电强度特性

一、有关名词术语的定义

击穿 breakdown: 绝缘材料在电场作用下形成贯穿性桥路, 发生破坏性放电, 使电极之间的电压降至零或接近零的现象, 对固体介质是永远失去介电强度, 对液体、气体, 只是暂时失去介电强度。

击穿电压 breakdown voltage: 在规定的试验条件下绝缘体或试样发生击穿时的电压。

介电强度 dielectric strength: 又称电气强度, 是指绝缘介质能承受而不致遭到击穿的最高电场强度。在规定的试验条件下, 发生击穿的电压除以施加电压的两电极之间距离所得商, 单位以 kV/cm 表示。

二、杂质对绝缘油击穿电压的影响

油中的杂质主要来自两方面, 即外来的杂质和内分解的杂质。外来的杂质是设备中固体绝缘纤维及空气中的灰

尘、纤维所造成的。内部杂质是由油中的不饱和烃类分解出的氧化物、可溶性树脂、油泥以及由于电弧所形成的油离碳等所造成。这些杂质最麻烦的地方是它们能以悬浮状态遍布于油中，在电场作用下，最易形成桥路，使油的介电强度大为降低。

三、水分对绝缘油击穿电压的影响

当油中的悬浮杂质愈多以及油离碳（油离碳是指绝缘油在电弧下分解的碳质物）有显著存在量时，油中含水的可能性也愈大。水分的来源一方面是空气的潮湿气侵入，另一方面也来自设备内的有机物（包括绝缘油）因温度而造成的分解。另外，绝缘油中的水分含量还受到油中烃类影响，如芳香烃。油中芳香烃含量愈多，温度愈高，其能溶解水分的性能也愈显著。这些水分几乎都是显微状析出，因而就更增加了悬浮（悬浮包括乳化和粗分散状态）及可溶性。含有水分绝缘油的绝缘水平将会显著降低，特别是水分对绝缘油的击穿电压影响更大。有资料表明，当油中含水量仅为 0.03% 时，其击穿电压就已下降了 25%。

四、试验条件对绝缘油击穿电压的影响

1. 击穿电压与加压时间的关系

当绝缘油比较纯净时，则击穿电压与加压时间的关系不大。但是，在工程上用的绝缘油中总是不可避免地含有或多或少的杂质，此时的击穿电压就与加压的时间有关。一般加压时间长时，击穿电压就会降低，因此在做绝缘油的交流击穿电压（介电强度）试验时，有必要规定升压的速度。

2. 击穿电压与频率和波形的关系

绝缘油的交流击穿电压通常是随施加电压频率的增加

而增加的，这也是杂质的作用。当油中杂质减少时，击穿电压与频率的关系也就不显著了。这是由于试验频率越高，油的游离现象就会减弱，其击穿电压值就越高。不过当频率过高时，油的击穿电压反而会降低，这是因为当频率过高时，油的介质损耗值的无功部分增加而造成热击穿。

油的击穿电压与电压波形的关系也与油中杂质的含量有关。在大多数情况下，当交流电压的波形畸变时，击穿电压取决于电压波的最大值而不是有效值。因此施加的电压为含有三次谐波的尖顶波时，得出的有效值表示的击穿电压就偏低，故试验电源可采用线电压以减少谐波的影响。

3. 击穿电压与电极间隙的关系

在均匀电场下，击穿电压一般与电极的间隙成正比。只有当电极的间隙很小（ $\leq 1\text{mm}$ ）时，才能获得均匀的电场，如电极间隙较大，即使在电极很大的情况下，也不能认为电场是均匀的。在不均匀电场中，击穿电压与间隙距离不成正比。因此，严格地说，在不同间隙距离下获得的击穿电压，即使换算到同样的间隙距离，也缺乏可比性，所以油的击穿电压都是指在规定的间隙距离下的击穿电压值。

4. 电极形状和材质对击穿电压的影响

电极的形状和材质对绝缘油击穿电压的大小也有一定的影响。从三种形式电极（球形、球盖形和平板形）比较试验，不论油样的击穿电压高低，都以球形电极的击穿电压值为最高，球盖形其次，平板形相对较低。当击穿电压值在 30kV 以下时，上述差别有缩减的趋势。击穿电压不

仅与电极的形状有关，而且还与电极表面的尺寸有关。表面愈大，击穿电压愈低。这是因为油的击穿属于热击穿形式，当电极表面增大时，油的对流作用减弱，从而也就减弱了对油的冷却作用，使油的加热速度增加，击穿电压降低。此外，在电极的材质上，对于绝缘油，其击穿电压的顺序是：银、铜、金、铅、锡、铁，即在采用银质电极时，在相同的电极距离下，其击穿电压值为最高，铜次之，铁最低，也就是说，热导系数大的材料制作的电极所得出的击穿电压高，这是符合绝缘油的热击穿理论的，因此在各种方法中都规定了电极的形状和材料。

5. 温度对击穿电压的影响

影响绝缘油介电强度大小的主要因素是温度、水分及杂质，特别是含有杂质及水分的油，温度对介电强度的影响更为显著。

不含杂质并经干燥无水分的油，其介电强度主要靠油的中性粒子的不游离性，所以在一定电场强度及温度下，它的离子质量还是比较大的。若温度继续上升（如超过70~80℃），则油的内分子状况就要起很大的变化，而黏度显著减小，于是，由电场所引起的离子速度在油内毫不受阻拦地进行加速，从而扩大了离子碰撞游离的可能性，使油发生击穿。如果油内含有水分和杂质，则温度对于油的击穿电压的影响就不同于纯净干燥的油品了。温度较低时，水分悬溶于油中呈乳浊状，在电场作用下，发生极性排序现象，在电场作用下的电子很容易沿着这种整齐排列的桥路，即相当于沿着乳浊体的体积电阻通过。所以温度较低时，其击穿电压值较小。当温度升高时，由于温度所造成的黏度值的减小，则水分乳浊体的活性变大，借助电

场作用疏散于油的中性分子之中。由于此时温度所造成的黏度值还不是最小，所以疏散的水分子乳浊体在同一时间内参差不齐及借黏度的作用，就比较不易结成桥路。温度再继续升高，则水分子乳浊体的活性更大，其击穿电压值也随温度上升而增加。当温度继续上升，致使油的黏度达到极小值时（如温度超过 70°C ），油的分子活性增加，水分乳浊体就很难借油的黏度阻力而逃脱电场的束缚，则又重新结成桥路，造成击穿。所以含有水分的油的击穿电压最大值对于温度的影响，比不含水分的油要低。

第二节 绝缘油的介电强度测定方法

一、方法概要

绝缘油的介电强度测定方法，是将放在专用设备里的被测试样经受一个按一定速率连续升压的交变电场的作用直至油击穿。测量值与所用的测量设备和采用的方法有很大关系。

二、测量仪器的选择原则

1. 绝缘油介电强度试验装置（即油试验器）

（1）输出电压。试验装置最大额定输出电压为 60kV 或 80kV ，必须零起升压，连续可调；该电压应是一近似正弦波，其峰值因数应为 $\sqrt{2} \pm 5\%$ 。

（2）容量。试验装置应能在电压大于 15kV 时产生一个 20mA 的最小短路电流。

（3）电压测量系统。试验电压值是电压的有效值，即电压峰值除以 $\sqrt{2}$ 。因绝缘油介电强度就是当电极之间发生第一个火花放电时的电压，所以不管火花放电是瞬时的还

是恒定的，要求系统能测出电极之间发生第一个火花放电时的电压，电压测量准确度不应低于 3%。

(4) 电压调节系统。电压调节一般采用手动和自动升压系统，最好采用自动升压系统，因为手动调节不易得到要求的匀速升压。升压速度一般选择 2kV/s （按标准 GB 507—1986《绝缘油介电强度测定法》选用球形和球盖形电极时）和 3kV/s （按 DL 429.9—1991《绝缘油介电强度测定法》选用平板形电极时）。

(5) 保护装置。试验装置应有明显可靠的接地点，进行试验时尽可能防止产生高频振荡。为了保护试验装置中的升压变压器和避免试样在击穿瞬间的分解，与试验油杯串联的回路中应串联有 $5 \sim 10\text{M}\Omega$ 的保护电阻器，以限制击穿电流。升压变压器的一次电路上应接有一个断路器，这个断路器能在试样击穿后不超过 0.02s 的时间内动作。断路器接一个无电压释放线圈以保护设备。

2. 试验油杯

(1) 试验油杯由杯体和电极两部分组成，三种类型的电极杯见图 1-1 ~ 图 1-3。

(2) 油杯杯体是由玻璃、塑料制成的透明容器或电工陶瓷制成的容器，球形和球盖形电极杯有效容积在 $300 \sim 500\text{ml}$ 之间，平板形电极杯有效容积不小于 200ml ，杯体以密闭为宜。

(3) 电极由磨光的铜、黄铜、青铜或不锈钢材料制成，规格如图 1-1 ~ 图 1-3 所示。电极面应光滑，一旦电极表面上有由于放电引起的凹坑时就应更换电极。

(4) 电极应安装在水平轴上，彼此相隔 2.5mm 。电极之间的间隙用块规校准，要求精确到 0.1mm 。电极轴浸入

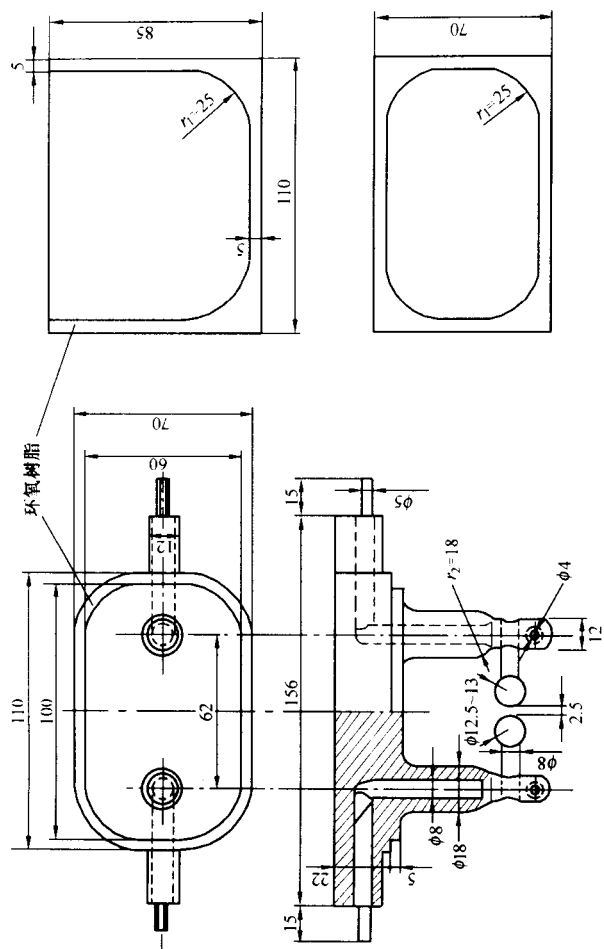


图 1-1 球形电极杯的规格

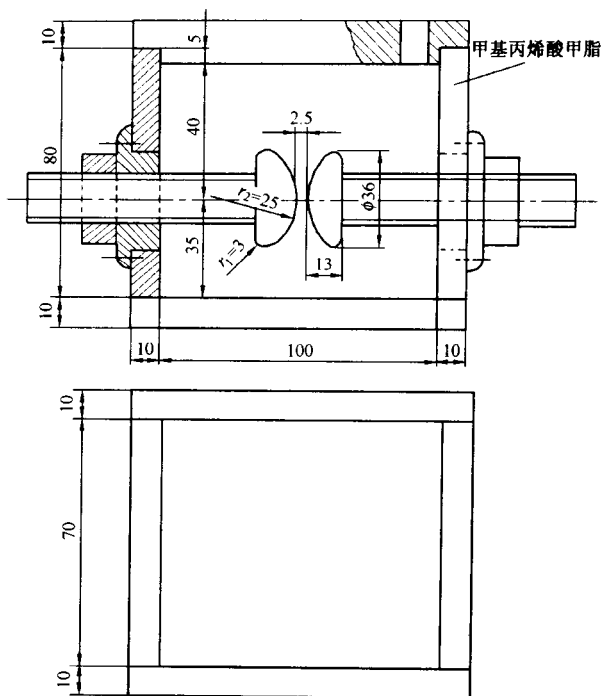


图 1-2 球盖形电极杯的规格

试油的深度应为 40mm 左右。

3. 标准规

矩形标准规厚度为 $2.5 \pm 0.05\text{mm}$ 。

4. 温度计

0~100℃，分度为 1℃。

5. 湿度计

6. 放大镜

三、试验步骤

1. 取样

介电强度的测定对试样的轻微污染相当敏感, 取样时很容易吸收水分, 因此取样时要用清洁、干燥的专用取样器严格地按 GB 4756—1984《石油和液体石油产品取样法(手工法)》取样。对桶装或听装的试样应从容器的底部抽取。

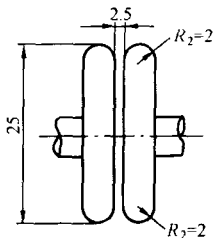


图 1-3 平板形
电极的规格

2. 试验方法标准的选择

(1) 标准的适用范围。GB/T 507—1986《绝缘油介电强度测定法》适用于验收 20℃时黏度不大于 50mm²/s 的各种绝缘油, 例如: 变压器油、电容器油、电缆油等新油或使用过的油, 但主要用于新油。DL 429.9—1991《绝缘油介电强度测定法》适用于验收到货的新绝缘油和电压在 220kV 以下的电力设备内的油。

(2) 试验方法的选择。根据 GB 2536—1990《变压器油》的技术要求, 新油的试验方法采用 GB/T 507—1986《绝缘油介电强度测定法》; 根据 DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》的要求, 投入运行前的油和运行油的试验方法采用 GB/T 507—1986《绝缘油介电强度测定法》或 DL 429.9—1991《绝缘油介电强度测定法》, 但在 DL 429.9—1991《绝缘油介电强度测定法》中注明: 经过滤处理、脱气和干燥后的油及电压高于 220kV 以上电力设备中的油, 应按 GB/T 507—1986《绝缘油介电强度测定法》采用球盖形电极进行试验。

3. 电极杯(油杯)的准备

根据要求选择试验方法的标准，根据标准选定电极的形状（球形、球盖形或平板形），因为电极的形状会影响试验的结果。油杯和电极需保持清洁，油杯不使用时，应将它充满干燥的油，并放于干燥防灰尘的清洁地方。油杯有一段时间未使用或试验劣质油后，重新再使用时，应进行严格的清洗。拆去并洗净电极，然后用干燥的新油洗涤。细心地重新安装上电极，安装时避免用手指与它接触。油杯和电极在连续使用达一个月后，应进行一次检查。用放大镜观察电极表面有无发暗现象，若有此现象，则应用麂皮或绸布擦净电极。若长期停用，在使用前，则也需进行此工作。油样注入电极杯前，先用规格为 2.5mm 的标准规限定电极间距离，固定好电极，再用试样冲洗已准备好的油杯 2~3 次。

4. 试样的准备

试样必须在不破坏原有贮装密封的状态下，于试验室内放置一段时间，待油温和室温相近方可揭盖。在揭盖前，轻轻摇动盛有试样的容器，使油中的杂质均匀分布而又不形成空气泡。将试样沿油杯内壁徐徐倒入油杯，倒试样时要避免空气泡的形成（也可借助于清洁、干燥的玻璃棒）。在操作中，应在防尘干燥的环境下进行，不允许用手触及电极、油杯内壁和油样，以免污染试样。试验时的油温应与室温相同，仲裁试验应在 15~20℃ 之间进行。

5. 进行试验

试验应在相对湿度不高于 75% 的条件下进行。在升压操作前，必须检查线路的连接情况，仔细检查油试验器的接地情况（接地端应可靠接地），手动调压时，应注意检查调压器把手是否放在起点位置。