

电气设备 预防性试验方法

陈化钢 编著



DL5161.1-2002

水利电力出版社

责任编辑：王春学
封面设计：贺立明

ISBN 7-120-02037-4/TM·549
定价：42.80 元

电气设备预防性试验方法

陈化钢 编著

水利电力出版社

(京)新登字 115 号

内 容 提 要

本书较全面系统地阐述了电气设备预防性试验的基本方法和各种电气设备进行预防性试验的具体测试方法,包括常规试验方法和在线监测方法。着重介绍各种测试方法的原理接线、使用仪器、测试中的异常现象及测试结果的综合分析判断。本书内容丰富,且理论密切联系实际。

本书可供从事高压试验的工程技术人员阅读,也可供大专院校有关专业的师生参考。

电气设备预防性试验方法

陈化钢 编著

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号)

沈阳工业大学印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 31.125 印张 728 千字

1994 年 9 月第一版 1996 年 5 月沈阳第二次印刷

印数 3001—5000 册

ISBN 7-120-02037-4/TM·549

定价: 42.80 元

前 言

绝缘诊断是检测电气设备绝缘缺陷或故障的重要手段，而预防性试验是绝缘诊断的基本方法，它仍是目前绝缘监督的重要内容。

随着电气设备的大容量化、高电压化、结构多样化及密封化，对预防性试验的要求愈来愈高，由此而出现了许多新技术、新方法、新装置和新仪器。为适应这种发展形势的需要，我们先后在吉林、黑龙江、辽宁、江苏、山东和安徽等地多次举办了电气设备预防性试验方法研讨班，并陆续编写了《电气设备预防性试验方法》、《电气设备绝缘在线诊断技术》、《电气设备预防性试验方法技术问答》和《电气设备预防性试验基本仪器或装置》等培训教材，在研讨班上讲授。由于能重视物理概念、异常现象分析和测试结果的综合分析判断方法，做到理论密切联系实际，所以受到来自全国 29 个省、直辖市、自治区的高电压试验工程技术人员的好评。本书是在上述教材的基础上，根据教学实践，经过修改和充实编写而成的。

在编写本书的过程中，主要以最新《电力设备预防性试验规程》、《现场绝缘试验实施导则》(DL 474.1~6-92) 和《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》(GB 50150-91) 为依据，又收集了大量的资料，并参考和引用了有关同志的试验数据和研究成果，谨在此向他们表示衷心的感谢。

本书由西安交通大学严璋教授主审。东北电力试验研究院王贵轩、蒲德芳高级工程师，吉林省电力试验研究所汪礼文、孙东明、金宜民教授级高级工程师，安徽省电力试验研究所张古银教授级高级工程师，中国华北电力联合公司电力试验研究院程玉兰、张开贤高级工程师，两锦电业局刘增权高级工程师，武汉水利电力大学程启武副教授等，对本书的初稿分别提出了宝贵的建议；在本书的编写和出版过程中，得到东北电力试验研究院培训中心以及苏州华电电力设备厂葛希文教授级高级工程师和安徽水利职工大学韩素云副研究馆员的热情帮助和大力支持。在此一并致谢。

由于水平有限，不妥和错误之处在所难免，欢迎读者批评指正，编著者将不胜感激。

编著者

1996年5月于桐城

目 录

前 言	
概 论	1

第一篇 绝缘预防性试验基本方法

第一章 测量绝缘电阻	5
第一节 测量绝缘电阻能发现的缺陷	5
第二节 测量绝缘电阻的原理	5
第三节 测量绝缘电阻的仪表	11
第四节 绝缘电阻测试方法及注意事项	16
第五节 影响绝缘电阻的因素	25
第六节 测量结果的分析判断	27
复习题	28
第二章 测量泄漏电流	29
第一节 测量泄漏电流的特点	29
第二节 测量原理	29
第三节 测量接线	30
第四节 影响测量结果的因素	38
第五节 测量时的操作要点	45
第六节 测量中的异常现象及初步分析	46
第七节 测量结果的分析判断	46
复习题	47
第三章 测量介质损失角正切	49
第一节 介质损失的一般概念	49
第二节 测量介质损失角正切能发现的缺陷	51
第三节 测量介质损失角正切的设备	53
第四节 测量结果的分析判断	85
第五节 绝缘预防性试验中的非破坏性试验结果的综合分析判断	86
复习题	88
第四章 交流耐压试验	90
第一节 交流耐压试验的目的和意义	90
第二节 交流耐压试验的试验接线	91
第三节 操作要点	108
第四节 交流耐压试验中的异常现象及初步分析	108
第五节 交流耐压试验结果的分析判断	109
复习题	111

第五章 直流耐压试验	113
第一节 直流耐压试验的特点	113
第二节 试验电压的确定	116
复习题	116

第二篇 电气设备绝缘的预防性试验

第六章 电力变压器试验	117
第一节 测量绝缘电阻和吸收比或极化指数	117
第二节 测量泄漏电流	124
第三节 测量介质损失角正切值	126
第四节 交流耐压试验	137
第五节 测量变压器的直流电阻	141
第六节 特性试验	150
第七节 油中溶解气体色谱分析	162
第八节 测定变压器油中微量水分的方法	187
第九节 测量局部放电	193
第十节 变压器油流带电测量	208
第十一节 铁芯多点接地故障及其诊断	215
第十二节 变压器故障综合判断实例	223
第十三节 零序阻抗的测量	245
第十四节 变压器操作波试验	250
复习题	263
第七章 互感器试验	265
第一节 电压互感器试验	265
第二节 电容式电压互感器试验	277
第三节 电流互感器试验	280
第四节 互感器的在线监测	283
复习题	290
第八章 断路器试验	292
第一节 测量绝缘电阻	292
第二节 测量介质损失角正切	293
第三节 测量泄漏电流	295
第四节 交流耐压试验	297
第五节 测量 SF ₆ 气体中的微量水和气体泄漏	298
第六节 载流回路试验	302
第七节 高压少油断路器的在线监测	304
第八节 GIS 绝缘的在线监测	309
复习题	316
第九章 套管试验	318
第一节 测量绝缘电阻	318
第二节 测量介质损失角正切和电容值	318

第三节	交流耐压试验	321
第四节	电容式套管的在线监测	322
复习题	.....	326
第十章	电力电缆试验	327
第一节	测量绝缘电阻	327
第二节	直流耐压和泄漏电流试验	328
第三节	电力电缆故障探测	334
第四节	交联聚乙烯电缆试验	344
第五节	电力电缆的在线监测	347
复习题	.....	350
第十一章	电力电容器试验	352
第一节	测量绝缘电阻	352
第二节	测量电容值	353
第三节	测量介质损失角正切	356
第四节	交流耐压试验	356
第五节	耦合电容器的在线监测	357
复习题	.....	366
第十二章	绝缘油的电气试验	367
第一节	概述	367
第二节	试验方法	370
复习题	.....	375
第十三章	避雷器试验	377
第一节	避雷器的基本类型、结构和测试项目	377
第二节	不带并联电阻避雷器 (FS 型) 的试验	380
第三节	带有并联电阻避雷器的试验	381
第四节	氧化锌避雷器试验	383
第五节	避雷器的在线监测	385
第六节	检查动作计数器	400
复习题	.....	401
第十四章	绝缘子试验	403
第一节	概述	403
第二节	测量电压分布	403
第三节	测量绝缘电阻	408
第四节	交流耐压试验	408
第五节	高压与超高压输电线路不良绝缘子的在线检测	409
复习题	.....	415
第十五章	接地装置	416
第一节	接地的基本概念	416
第二节	接地装置的类型	420
第三节	接地电阻的计算	424
第四节	接地电阻的测量方法	427

第五节	土壤电阻率的测量方法	436
复习题	.....	439
第十六章	同步发电机试验	440
第一节	测量定子绕组的绝缘电阻	440
第二节	定子绕组的直流耐压试验及测量泄漏电流	442
第三节	交流耐压试验	448
第四节	超低频耐压试验	449
第五节	特性试验	452
第六节	温升试验	455
第七节	转子绕组接地及匝间短路故障诊断	460
第八节	冷却风量测量	468
第九节	定子绕组的槽放电试验	469
第十节	损耗和效率的测量	471
第十一节	励磁机的特性试验	473
复习题	.....	474
附录一	球隙放电电压标准表 (IEC 1960 年公布)	475
附录二	ZGS 系列直流高压试验器的技术指标	479
附录三	ZGF 系列便携式直流高压发生器主要技术指标	480
附录四	JGS-3 型晶体管直流高压试验器主要技术指标	481
附录五	我国生产的几种电缆故障探测器 (仪)	481
附录六	我国生产的部分油试验器型号及参数	482
参考文献	.....	483

概 论

电气设备绝缘预防性试验是指对已投入运行的设备按规定的试验条件（如规定的试验设备、环境条件、试验方法和试验电压等），试验项目和试验周期所进行的试验，它是判断设备能否继续投入运行，预防设备损坏以及保证设备安全运行的重要措施。因此，我国规定，凡电力系统的设备，应根据《电力设备预防性试验规程》（以下简称《规程》）的要求进行预防性试验，防患于未然。

众所周知，电气设备在制造、运输和检修过程中，有可能因发生意外事故而残留有潜伏性缺陷；在长期运行过程中，又会受到电场的作用、导体发热的作用、机械力损伤、化学腐蚀作用以及大气条件的影响等，在这些外界因素的影响下，可能逐渐产生缺陷，使其绝缘性能变坏，这就是通常所说的劣化。劣化的绝缘有的是可逆的，有的是不可逆的。例如，绝缘受潮后，其性能下降，但进行干燥后，又恢复其原有的绝缘性能，显然它是可逆的。再如，某些工程塑料在湿度、温度不同的条件下，其机械性能呈可逆的起伏变化，这类可逆的变化，实质上是一种物理变化，是一种没有触及化学结构的变化。若绝缘在各种因素的长期作用下发生一系列的化学、物理变化，导致绝缘性能和机械性能等不断下降，我们称这种劣化为老化，它是不可逆的劣化。例如局部放电时会产生臭氧，很容易使绝缘材料发生臭氧裂变，导致材料性能老化；油在电弧的高温作用下，能分解出碳粒，油被氧化而生成水和酸，都会使油逐渐老化。正确区分绝缘的可逆劣化和不可逆劣化，在预防性试验中具有重要意义。

为分析、判断方便，通常把绝缘缺陷分为以下两类：

(1) 集中性缺陷。指缺陷集中于绝缘的某个或某几个部分。例如局部受潮、局部机械损伤、绝缘内部气泡、瓷介质裂纹等，它又分为贯穿性缺陷和非贯穿性缺陷，这类缺陷的发展速度较快，因而具有较大的危险性。

(2) 分布性缺陷。指由于受潮、过热、动力负荷及长时间过电压的作用导致的电气设备整体绝缘性能下降，例如绝缘整体受潮、充油设备的油变质等，它是一种普遍性的劣化，是缓慢演变而发展的。

既然电气设备绝缘有缺陷，那么它的绝缘性能就要发生变化。这样，我们就可以通过某种试验手段，测量表征其性能的有关参数，以查找绝缘存在的缺陷。目前，通常采用预防性试验手段来查找，并且它已成为我国电力生产中的一项重要制度。

电气设备预防性试验通常按其对被试绝缘的危险性进行分类，它包括以下两类：

(1) 非破坏性试验。在较低电压（低于或接近额定电压）下进行的试验称为非破坏性试验。主要指测量绝缘电阻、泄漏电流和介质损失角正切等电气试验项目。由于这类试验施加的电压较低，故不会损伤设备的绝缘性能，其目的是判断绝缘状态，及时发现可能的劣化现象。

(2) 破坏性试验。在高于工作电压下所进行的试验称为破坏性试验。试验时在设备绝缘上加上规定的试验电压, 考验绝缘对此电压的耐受能力, 因此也叫耐压试验。它主要指交流耐压和直流耐压试验。由于这类试验所加电压较高, 考验比较直接和严格, 但也有可能在试验过程中给绝缘造成一定的损伤, 故而得名。

应当指出, 这两类试验是有一定顺序的, 应首先进行非破坏性试验, 然后再进行破坏性试验, 这样可以避免不应有的击穿事件。例如进行变压器预防性试验时, 当用非破坏性试验检测出其受潮后, 应当先进行干燥, 然后再进行破坏性试验, 这样可以避免变压器一开始试验就被打坏, 造成修复困难。

若按停电与否进行分类, 预防性试验可分为以下两类:

(1) 常规停电预防性试验。这就是通常所说的预防性试验。

(2) 带电测试。这就是通常所说的在线监测, 它是预防性试验的重要组成部分, 是发展的最高形式。

多年来, 常规停电预防性试验对保证电气设备安全运行起到了积极的作用, 但是随着电气设备的大容量化、高电压化、结构多样化及密封化, 对常规停电预防性试验而言, 由于所采用的方法大多是传统的简易诊断方法, 因而显得不太适应, 主要表现在:

(1) 试验时需要停电。目前, 我国电力供应还比较紧张, 即使是计划性停电, 也会给生产带来一定的影响。在某些情况下, 当由于系统运行的要求设备无法停运时, 往往造成漏试或超周期试验, 这就难以及时诊断出绝缘缺陷。另外, 停电后设备温度降低, 测试结果有时不能反映真实情况。研究表明, 约有 58.5% 的设备难以根据低温度试验结果作出正确判断。

(2) 试验时间集中、工作量大。我国的绝缘预防性试验往往集中在春季, 由于要在很短的时间(通常为 3 个月左右)内, 对数百甚至数千台设备进行试验, 一则劳动强度大, 二则难以对每台设备都进行十分仔细的诊断, 对可疑的数据未能及时进行反复研究和综合判断, 以致酿成事故。例如, 测得某 220kV 油纸电容式电流互感器的 $\text{tg}\delta$ 为 1.4%, 虽小于标准值 1.5%, 但比上年的测量值 0.41% 增长 2.4 倍, 也判断为合格, 结果投运 10h 后, 就发生了爆炸。

(3) 试验电压低, 诊断的有效性值得研究。对于传统的诊断方法, 试验电压一般在 10kV 及以下, 由于试验电压低, 不易发现缺陷, 所以曾多次发生预防性试验合格后的烧坏、爆炸情况。例如, 安徽省滁州电业局曾发生 OY-110/ $\sqrt{3}$ -0.0066 型耦合电容器试验合格, 而运行不到三个月就爆炸的情况; 东北地区某 220kV 少油断路器曾发生测得 B 相泄漏电流为 $7\mu\text{A}$ (小于标准 $10\mu\text{A}$), 判断为合格, 投运 10 个月后就爆炸的情况。

基于上述情况, 目前需要开展以下两方面的研究:

(1) 新的预防性试验检测参数与方法。近几年来, 色谱分析、局部放电等试验项目的引入, 使检测的有效性明显提高, 但是对有些缺陷仍难以及时发现。这就需要继续引入一些新的检测参数、新方法和新技术。目前国外也很重视这方面的研究和开发。例如, 日本开发了自动加交流高压以及测量最大放电电荷量、介质损耗、电流增加率、电流急增点、直流量等等的自动绝缘诊断装置, 它能给出测量曲线、综合特性等, 完成自动测量和分析。

(2) 在线监测。由上述可知, 电气设备虽然都按规定、按时做了常规预防性试验, 但

事故往往仍然时有发生，其主要原因之一是由于现有的试验项目和方法往往难以保证在这一个周期内不发生故障。由于绝大多数故障在事故前都有先兆，这就要求发展一种连续或选时的监视技术，在线监测就是在这种情况下产生的。由于现在不少设备的运行电压已远高于停电后的试验电压，如能利用运行电压本身对高压电气设备绝缘情况进行试验，这样就可以大大提高试验的真实性和灵敏度，以便及时发现绝缘缺陷，这是在线监测的一个重要出发点。

近年来，随着传感器技术、光纤技术、计算机技术等的发展和应用，为在线监测揭开了新的一篇。图 01 示出了在线监测中一个最基本的流程示意图。由各种传感器系统所获得的各种信号（采集到的可能是电气参量，也可能是温度、压力、超声等非电气参量），经过必要的转换后，统一送进数据处理、分析系统。当然，为了采集及处理不同的参量，还需要相应的硬件与软件来支持。在综合分析判断后给出结果，既可以用微型打字机打印，也可以直接存盘或屏幕显示；如有“超标”，可立刻发出警报；也可与上一级检测中心相连，即形成多级监控系统的一部分。这时，为轻便起见，在设备旁边的在线监测仪一般可用单片（或单板）机来完成；而在变电站里另用个人计算机即可对各设备、各参量统一进行分析处理，实现存贮、分析、对比、诊断等功能。

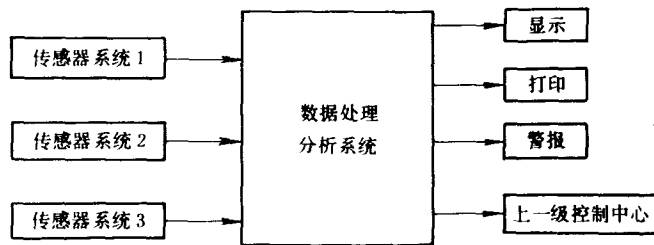


图 01 在线监测流程示意图

可以认为在线监测有可能逐步取代常规停电预防性试验，但是，目前还不能这样做，原因如下：

(1) 目前在线监测大多局限于测量电气设备在工频电压下的绝缘参量。这样，在线监测就难以得到直流电压下的绝缘特性。对一些特定设备，例如，聚乙烯电缆，在检测其水树时，也有采用在交流运行电压下叠加低压直流方法的，但是此类方法在多大程度上可以取代其他直流试验等问题还需要进一步探讨。

(2) 在线监测无法测量电气设备在高于运行电压下的交流参数。

(3) 在线监测尚有迫切需要研究的问题，它包括两个方面，一是确定绝缘诊断方法，即要测量什么参数，这些参数要发展到怎样的水平或出现怎样的模式做为预报故障的判据；另一方面是如何测准这些参数。总之，不能认为将常规停电预防性试验项目、测试方法都改为在线监测就大功告成了，必须对上述问题进行充分论证。

目前国外从现有监测技术出发，把停电自动监测与在线监测系统结合起来，利用电气设备停运时自动进行常规性预防性试验是弥补在线监测不足的方法之一。采用这样的方法，

要求测试时设备的一次侧能够与其他设备隔离，并要有自动加压设备，同时要求系统运行时自动断开这些加压设备，因此测试系统结构比较复杂。

由上述可知，在线监测目前我国仍处于不断总结和巩固的阶段。为了总结、推广、协调我国的在线监测工作，在电力工业设备诊断技术专业协会的领导下，于1987年11月28日正式成立了电力设备绝缘诊断专业委员会，各省电力部门也陆续成立了相应的组织，指导基层工作。近年来，有些单位已研制出了多功能在线监测装置和电力变压器故障诊断专家系统，有些单位积极推广了电气设备红外诊断技术，这些都有力地推动了我国在线监测工作的发展。

复 习 题

1. 什么是绝缘预防性试验？为什么要对电气设备进行绝缘预防性试验？
2. 绝缘缺陷分为几类，它们的特点各是什么？
3. 在预防性试验中，为什么必须先做非破坏性试验，后做破坏性试验？
4. 什么是在线监测？为什么要推广在线监测？它的发展前景如何？
5. 当前绝缘预防性试验研究的主要内容是什么？
6. 名词解释：老化、劣化。

第一篇 绝缘预防性试验基本方法

第一章 测量绝缘电阻

第一节 测量绝缘电阻能发现的缺陷

测量绝缘电阻是一项最简便而又最常用的试验方法，通常用兆欧表（俗称摇表）进行测量。根据测得的试品在 1min 时的绝缘电阻的大小，可以检测出绝缘是否有贯通的集中性缺陷，整体受潮或贯通性受潮。例如，电力变压器的绝缘整体受潮后其绝缘电阻明显下降，可以用兆欧表检测出来。

应当指出，只有当绝缘缺陷贯通于两极之间时，测量其绝缘电阻时才会有明显的变化，即通过测量才能灵敏地检出缺陷。若绝缘只有局部缺陷，而两极间仍保持有部分良好绝缘时，绝缘电阻降低很少，甚至不发生变化，因此不能检出这种局部缺陷。

第二节 测量绝缘电阻的原理

通过测量绝缘电阻为什么能发现上述缺陷？在测量中为什么又读取 1min 的绝缘电阻值？为回答这些问题，首先来分析电气设备绝缘在直流电压作用下所流过的电流。

图 1-1 (a) 所示为电气设备绝缘在直流电压作用下的电路图。当合上 K 时，记录微安表在不同时刻的读数，据此绘成的曲线如图 1-1 (b) 所示。

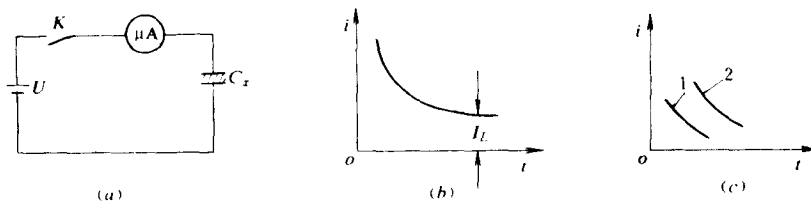


图 1-1 电气设备绝缘在直流电压作用下的电路图和电流
(a) 电路图；(b) 电流随时间的变化；(c) 充电电流及吸收电流随时间的变化
1—充电电流；2—吸收电流

由图 1-1 (b) 可见，电流逐渐下降，趋于一恒定值，这个值显然是漏导电流 I_L 。可是随时间减小的那一部分电流不完全是充电电流，因为理想的电介质（即绝缘材料）所组成的设备（如真空或空气电容器），其充电电流随时间衰减极快（微秒级），如图 1-1 (c) 中的曲线 1 所示，而曲线 2 则是一种缓慢衰减的电流，它实际存在于电介质之中。这样，在实际的电介质上施加直流电压后，随时间衰减的电流可以看成是由三种电流组成的，它们分别是：

(1) 漏导电流。因为世界上没有绝对“隔电”的物质，在绝缘介质中总有一些联系弱

的带电质点存在，例如大气中约存在 $1000 \text{ 对}/\text{cm}^3$ 的正、负离子，所以任何绝缘材料在外加电压作用下都会有极微弱的电流流过，而且此电流经过一定的加压时间后即趋于稳定。

漏导电流是由离子移动产生的，其大小决定于电介质在直流电场中的导电率，所以可以认为它是纯电阻性电流。漏导电流随时间变化的曲线如图 1-2 所示。显然，它的数值大小反映了绝缘内部是否受潮，或者是否有局部缺陷，或者表面是否脏污。因为在这些情况下，或者是绝缘介质内部导电粒子增加，或者是表面漏电增加，都会引起漏导电流增加，因而其绝缘电阻就减小。

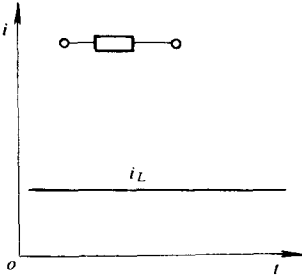


图 1-2 在直流电压作用下电介质内泄漏电流随时间变化的曲线

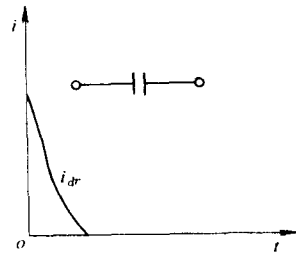


图 1-3 在直流电压作用下电介质的电容电流随时间变化的曲线

(2) 几何电流。它是在加压时电源对电介质的几何电容充电时的电流，所以称之为几何电流或电容电流。究其实质，它是由快速极化（如电子极化、离子极化）过程形成的位移电流，所以有时称之为位移电流。由于快速极化是瞬时完成的，因而这种电流瞬间即逝，它随时间变化的曲线如图 1-3 所示。

(3) 吸收电流。吸收电流也是一个随加压时间的增长而减少的电流，不过它比几何电流衰减慢得多，可能延续数分钟，甚至数小时，这是因为吸收电流是由缓慢极化产生的。其值取决于电介质的性质、不均匀程度和结构。在不均匀介质中，这部分电流是比较明显的。由于吸收电流的概念较难理解，下面以不均匀电介质为例，讨论缓慢极化和伴随产生的吸收电流。

为了突出物理概念，讨论时选用由两种截然不同的电介质所构成的双层介质，并且每层电介质用并联的电容 C_1 、 C_2 和电导 g_1 、 g_2 来代替，如图 1-4 所示。

在直流电压刚刚加上的瞬间，犹如加上一个频率很高的电压，各层介质上的电压是按电容分配的，由图 1-4 (b) 可得

$$U_{10} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} U \quad Q_{10} = C_1 U_{10} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} U$$

$$U_{20} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U \quad Q_{20} = C_2 U_{20} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} U$$

由此可见，电荷 $Q_{10} = Q_{20}$ ，所以在两种电介质的交界面上没有过剩的电荷。当电源容量很大时，这个过程很快就完成。

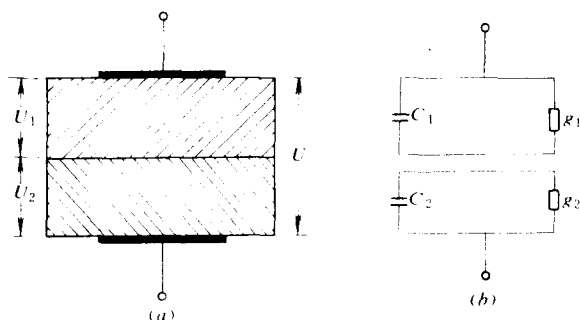


图 1-4 双层电介质的等值电路图

在稳定的直流电压下，当充电完毕后，电容就不再起作用了，相当于开路，最后只剩下流经电导 g_1 和 g_2 的电流。于是电压在各层介质上按电导分配，由图 1-4 (b) 可得

$$U_{1\infty} = \frac{g_2}{g_1 + g_2} U \quad Q_{1\infty} = C_1 U_{1\infty} = \frac{C_1 g_2}{g_1 + g_2} U$$

$$U_{2\infty} = \frac{g_1}{g_1 + g_2} U \quad Q_{2\infty} = C_2 U_{2\infty} = \frac{C_2 g_1}{g_1 + g_2} U$$

由此可见，仅当 $C_1 g_2 = C_2 g_1$ 时， $Q_{1\infty} = Q_{2\infty}$ ，即交界面上也无过剩电荷。但是一般情况下 $C_1 g_2 \neq C_2 g_1$ ，则 $Q_{1\infty} \neq Q_{2\infty}$ ，即交界面上将有过剩的电荷出现。

为了弄清物理概念，假定 $C_2 > C_1$ ， $g_1 > g_2$ ，则 $Q_{2\infty} > Q_{1\infty}$ ，这样交界面上积累的过剩电荷为

$$Q_j = Q_{2\infty} - Q_{1\infty}$$

这些电荷是怎么积累的呢？显然，在 C_1 放电的同时， C_2 要被补充充电。由谁来充呢？当然是电源。这时充电的路径又是什么样的呢？由图可知，充电是沿着电源的一极 $\rightarrow g_1 \rightarrow C_2 \rightarrow$ 电源另一极的路径进行的。观察此充电过程会发现：①对 C_2 充电时，开始电流较大，随时间增长，电流逐渐减小，直至到零；②由于 g_1 很小（或说成 R_1 很大），故充电时间很长，换言之，这种过程需要很长时间才能完成。我们把这个过程中以自由离子移动而形成的充电电流称为吸收电流，把这种现象称为吸收现象。吸收电流随时间变化的曲线如图 1-5 所示。由于这一过程还要消耗能量，所以这部分电流可以看成是电源经过一个电阻向电容器充电的电流。

显然，吸收电流也与被试设备受潮情况有关。

若将三个电流曲线加起来，即可得到在兆欧表等直流电压作用下，流过绝缘介质的总电流随时间变化的曲线，通常称之为吸收曲线，如图 1-6 所示。

分析吸收曲线可知：

(1) 吸收曲线经过一段时间后趋于漏导电流曲线，因此在用兆欧表进行测量时，必须等到兆欧表指示稳定时才能读数。通常认为经 1min 后，漏导电流趋于稳定。所谓测量绝缘电阻就是用兆欧表等测量这个与时间无关的漏导电流（即后面所说的泄漏电流）。而在兆欧表上直接读出的是绝缘电阻数值。

由于流过绝缘介质的电流有表面电流和体积电流之分，所以绝缘电阻也有体积绝缘电

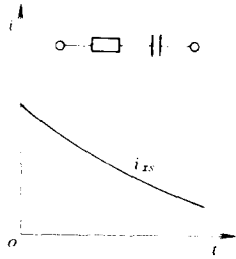


图 1-5 在直流电压下电介质内吸收电流
随时间变化的曲线

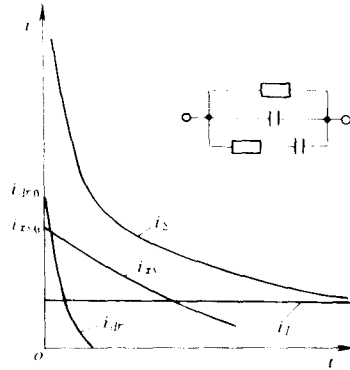


图 1-6 在直流电压下电介质内所产生的
三种电流总和随时间变化的曲线

阻和表面绝缘电阻之分,如图 1-7 所示。由于表面电流只反映表面状态,而且可被屏蔽掉,所以实际测得的绝缘电阻是体积绝缘电阻。因此,绝缘电阻的定义应为作用于绝缘上的电压与稳态体积泄漏电流之比,即

$$R_j = \frac{U}{I_w} \quad (1-1)$$

式中 I_w ——稳态时的体积泄漏电流;
 U ——作用于绝缘上的电压;
 R_j ——绝缘的体积电阻。

当绝缘受潮或有其它贯通性缺陷时,绝缘介质内离子增加,因而体积泄漏电流剧增,体积绝缘电阻当然也就变小了。因此,体积绝缘电阻的大小在某种程度上标志着绝缘介质内部是否受潮或品质上的优劣。

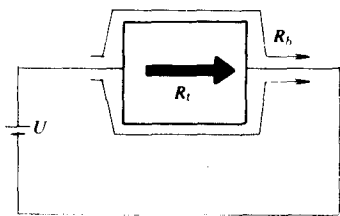


图 1-7 电介质的体积绝缘电阻
和表面绝缘电阻

可按图 1-8 测量体积绝缘电阻和表面绝缘电阻。由图 1-8 (a) 所测得电阻为体积绝缘电阻 R_v , 有

$$R_v = \rho_v \frac{d}{S} (\Omega) \quad (1-2)$$

式中 S ——介质上的电极面积 (cm^2);
 d ——极间距离 (cm);
 ρ_v ——绝缘的体积电阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)。

由于表征绝缘电阻大小的物理量是绝缘的电阻率 ρ , 或绝缘的电导率 γ , 而 $\gamma = \frac{1}{\rho}$ 。所以式 (1-2) 常写成

$$\rho_v = R_v \frac{S}{d} (\Omega \cdot \text{cm}) \quad (1-3)$$

由图 1-8 (b) 所测得的电阻为固体介质表面电阻 R_s , 同理, 可写出 ρ_s 的表达式为

$$\rho_s = R_s \frac{b}{L} (\Omega) \quad (1-4)$$

式中 b ——介质上的电极宽度 (cm);
 L ——极间沿面距离 (cm);
 ρ_s ——绝缘的表面电阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)。