

电气设备绝缘在线 监测和状态维修

黄盛洁 姚文捷 马治亮 李化 著

Online Insulation Monitoring and
Condition-Based Maintenance for
Electric Power Apparatus



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电气设备绝缘在线 监测和状态维修

◎ 黄盛洁 姚文捷 马治亮 李化 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书较全面地介绍了绝缘在线监测系统各部件工作原理、监测系统及其误差来源,电气设备局部放电在线监测技术,还着重介绍了变压器局部放电在线监测及定位技术。书中阐明了绝缘在线监测与状态维修的关系,状态维修专家决策系统的构成以及设备状态维修在电力系统中的重要性。

本书适用于电力系统、工业企业供电部门的技术人员和管理人员阅读,也可作高等院校相关专业学生及教师的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气设备绝缘在线监测和状态维修/黄盛洁等著.

北京:中国水利水电出版社,2004.4

ISBN 7-5084-1966-9

I. 电... I. 黄... II. ①电气绝缘—故障监测
②电气绝缘—维修 N. TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 022745 号

书 名	电气设备绝缘在线监测和状态维修
作 者	黄盛洁 姚文捷 马治亮 李化 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 11.75 印张 279 千字
版 次	2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—5100 册
定 价	27.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

电力系统中运行的电气设备长期遭受着天气、温度、雷击、操作过电压及自身发热的作用。在这些因素的作用下，绝缘将会逐渐老化，导致放电击穿，造成系统停电。电力系统的故障将严重影响人民生活和国家经济的发展。设备的绝缘状态关系着电力系统能否安全运行。电气设备绝缘在线监测技术为电气设备的绝缘状态提供了监测手段。

绝缘在线监测技术是高电压技术中的一门新学科，它是传感器技术、电子技术及计算机技术与高电压技术相结合的产物。它既需要各学科的交叉研究，又需要以高电压技术的科研成果为核心。此项技术实用性极强，只有那些在电力系统的使用中得到考验证实的技术，方可得到使用部门的认可。而一些达不到要求的装置及技术将遭受淘汰。

作者对绝缘在线监测技术、变压器局部放电监测定位技术进行了较多的研究并取得一些成果，此后又在多个500、220、110kV变电站中经受实践检验，从中获得很多经验及教训，又经过长期不懈的努力，在实践—理论—实践中逐步提高，现将心得体会编写成书，与读者共享。

由于涉及多门学科技术，对一个电力工作者而言，要想在各个领域都站在顶峰上是不可能的，也是不必要的。因此，作者遵照“既要介绍一般基础知识，又要涉及科研前沿”的原则编著本书。

本书的主要对象是电力系统和工业企业供电部门的技术人员及管理人员。书中除着重一些基本知识的阐述外，对目前高电压技术关于本课题的研究进行重点阐明。书中第1章至第6章，着重介绍绝缘在线监测系统各部件工作原理，第7章至第12章介绍变电站电气设备在线监测一些主要绝缘参数($\text{tg}\delta$ 、 C 、泄漏电流)的测量方法及现场监测的数据。所有数据来源于作者安装在各变电站的绝缘在线监测系统的监测结果。第13章对市面上已有的各种不同实施方式的绝缘在线监测系统进行比较。第14章至第16章主要叙述电气设备局部放电在线监测，侧重点是变压器局部放电在线监测及定位技术。这是作者的研究成果，

并已申请专利。第17章介绍油中气体在线监测。油中气体在线监测是一个较困难和复杂的研究课题。在加拿大、日本和美国都有一定的研究成果。国内重庆大学^[56]进行了长期的研究,取得了较大成功。作者在本章仅介绍一些基本知识供读者学习。第18章介绍电力外绝缘污秽度的在线监测。本章由武汉高压研究所张亚萍高级工程师执笔。第19章叙述电气设备状态维修、绝缘在线监测技术与状态维修的关系及状态维修专家决策系统。

在附录中作者特别提出了“局部放电检测仪视在放电量校准器的自检定规程”。长期以来,作者注意到局部放电测量的特殊性(它不能直接在试验中测量出局部放电量值,需要在加电压试验前进行校准)。作为校准器的准确度既无检定规程,又很容易为技术人员忽略。作者根据GB/T 7354—1987及电子仪器有关标准提出了自检定规程,供读者参考。

由于作者水平有限,加之电气设备绝缘在线监测及诊断技术正在迅速发展,本书可能存在不完善及错误之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2004年3月于武汉

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 电气设备绝缘在线监测技术在电力系统中的重要性	1
1.2 电气设备绝缘的特征量	2
1.3 绝缘在线监测系统功能	3
1.4 绝缘在线监测系统基本结构	4
1.5 电气设备绝缘在线监测项目与预防性试验项目比较	4
1.6 电气设备绝缘在线监测和状态维修技术应用	8
第 2 章 绝缘在线监测用传感器	12
2.1 电压传感器的基本原理	12
2.2 电流传感器的基本原理	14
2.3 电流传感器铁芯	16
2.4 早期绝缘在线监测系统的取样方式	17
2.5 常用电流传感器	19
2.6 电流传感器误差分析	21
2.7 电流传感器检测方法	23
2.8 传感器的屏蔽与保护	24
第 3 章 绝缘在线监测量的模—数转换	26
3.1 模—数转换基本概念	26
3.2 模—数转换电路	27
3.3 绝缘在线监测量的模—数转换	29
3.4 绝缘在线监测模—数转换误差分析	30
第 4 章 多路模拟开关、数字量输入输出接口	33
4.1 一般介绍	33
4.2 电子模拟开关的基本原理	34
4.3 多路模拟开关的应用	36
4.4 数字量输入输出接口板 (I/O 卡)	39
第 5 章 测量电缆、电源净化系统	41
5.1 测量电缆	41
5.2 隔离变压器	42
5.3 电源尖峰波滤波器	44

5.4	电源稳压系统	45
第6章	绝缘在线监测系统	46
6.1	绝缘在线监测系统原理	46
6.2	绝缘在线监测系统软件包	50
6.3	电气设备信号取样方法	51
第7章	电气设备介质损耗因数 ($\text{tg}\delta$) 在线监测方法	53
7.1	概述	53
7.2	在线监测 $\text{tg}\delta$ 值时几种计算方法比较	55
第8章	在线监测介质损耗因数 ($\text{tg}\delta$) 误差分析	57
8.1	电压互感器误差	57
8.2	电流传感器、电压传感器误差	59
8.3	A/D 采样误差	61
8.4	测量电缆引起的误差	61
8.5	采用其他在线监测方法测量 $\text{tg}\delta$ 及其误差分析	61
8.6	绝缘在线监测系统标准的建立	63
第9章	变压器、电抗器套管绝缘在线监测	65
9.1	电容型套管	65
9.2	电容型套管预防性试验与绝缘在线监测数据比较	68
9.3	利用三相套管抽头的不平衡电流作套管绝缘在线监测	70
第10章	耦合电容器绝缘在线监测	71
10.1	耦合电容器介绍	71
10.2	耦合电容器绝缘在线监测	72
第11章	电流互感器、电压互感器绝缘在线监测	75
11.1	概述	75
11.2	电流互感器绝缘在线监测	77
11.3	电磁式电压互感器绝缘在线监测	79
11.4	电容式电压互感器绝缘在线监测	79
11.5	电容式电压互感器在线监测介质损耗因数 ($\text{tg}\delta$) 测量结果分析	82
第12章	避雷器绝缘在线监测	87
12.1	金属氧化物避雷器 (MOA)	87
12.2	MOA 阻性电流在线监测	88
12.3	便携式避雷器泄漏电流检测仪	91
第13章	绝缘在线监测系统实施方案比较	93
13.1	绝缘在线监测系统分类	93

13.2	测 $\text{tg}\delta$ 实际值与测 $\text{tg}\delta$ 相对值两种测量方案比较	93
13.3	集中控制型与分散控制型比较	94
第 14 章	电气设备局部放电测量原理	98
14.1	电气设备局部放电机理	98
14.2	局部放电检测原理	99
14.3	局部放电在线监测传感器	101
第 15 章	变压器局部放电在线监测	105
15.1	变压器局部放电在线监测基本原理	105
15.2	扩大差动平衡法	109
15.3	变压器局部放电电气定位技术	114
15.4	变压器局部放电在线监测定位系统	118
15.5	变压器局部放电电气定位法应用实例	121
第 16 章	电缆、互感器、发电机及 GIS 局部放电在线监测	130
16.1	电缆绝缘参数及局部放电在线监测	130
16.2	电压互感器、电流互感器局部放电在线监测	132
16.3	发电机局部放电在线监测	136
16.4	GIS (气体绝缘封闭式组合电器) 局部放电在线监测	140
第 17 章	油中气体在线监测	145
17.1	变压器故障与油中特征气体的关系	145
17.2	渗透气体分离膜	146
17.3	气体传感器	147
17.4	变压器油中气体在线监测	149
第 18 章	电力外绝缘污秽度在线监测	152
18.1	绝缘子表面污秽度参数量的选择与测量	152
18.2	污秽度的报警	155
18.3	绝缘子表面泄漏电流测量	156
18.4	报警指标选择及报警信息管理	158
第 19 章	电力系统电气设备状态维修	161
19.1	电气设备状态维修对电力系统的重要性	161
19.2	电气设备状态维修专家决策系统	163
19.3	电气设备状态维修专家决策系统实例	166
19.4	电力系统绝缘状态管理网	170
附录	局部放电检测仪视在放电量校准器自检定方法	172
参考文献	178

第 1 章

概 论

21 世纪面临着科学、技术的高速发展，电力的发展已跟不上形势。美国、欧洲及我国都相继出现了电力供应紧张的状况。发展电力建设及提高供电的安全性，是解决电力供应不足的两个根本措施：

(1) 发展电力建设，国家、地方都有远期及近期的计划安排，本书将不在这方面进行讨论。

(2) 提高供电的安全性，将减少由于停电给国民经济带来的损失，即从另一方面满足了用户的用电要求。

近年来国内外关于高电压技术的研究，已由特高压的研究转向了安全供电、经济送电技术方面的研究。其原因也是挖掘减少故障造成损失，将这方面的电力供应潜力开发出来。

运行电力设备的绝缘状态对电力系统的安全运行至关重要，长期以来电力系统沿用传统的定期试验方式（称预防性试验）来检测高压电气设备的绝缘。但由于预防性试验电压远远低于实际运行电压，往往不能发现设备绝缘缺陷。且定期的电网断电，将给国民经济造成损失。20 世纪 80 年代以来，国内外在带电测量技术的基础上发展起一门新的监测技术——电气设备绝缘在线监测技术。它能对被监测设备的绝缘参数随时进行测量，大大缩短了运行设备的检测时间及检测周期，为电力系统的安全运行提供可靠的保证。

绝缘在线监测系统的研制成功，是专业技术人员将传感器技术、电子技术、计算机技术与高电压技术相结合的产物。

在绝缘在线监测技术的基础上，开展设备绝缘的状态维修，也是当前电力技术研究的重要课题。

1.1 电气设备绝缘在线监测技术在电力系统中的重要性

在电力系统中，变电站是传送、分配电力的枢纽。它主要由变压器、电抗器、耦合电容器、电压互感器、电流互感器、避雷器及开关设备等组成。这些设备中变压器是最重要的。国内外统计资料表明，电气设备长期运行时受温度、雷击及内过电压的作用，绝缘会

逐步老化，导致内部产生微弱放电（称局部放电）如果不采取措施，它会逐步扩大而导致设备绝缘击穿。

在电力系统中沿用的传统停电检查绝缘的方法，每年对每一台设备都要停电一次或两次，试验电压通常为 10kV，以此确定绝缘的好坏及它们能否继续投入运行。很少用别的手段了解设备在一年运行中的绝缘变化情况。

电气设备绝缘在线监测系统有下列优点：

(1) 不需要停电就可以了解运行设备的绝缘状况（包括变压器、电抗器的局部放电位置）减少停电对国民经济影响。

(2) 在运行电压下，绝缘的缺陷较容易暴露出来。预防性试验电压为 10kV，在这个电压下，对 35、110、220、500kV 而言是低压，不容易发现缺陷。

(3) 可对运行中电力设备的绝缘进行跟踪监测，及时发现设备内部的故障隐患。

(4) 绝缘在线监测系统所得到的数据为设备的“状态维修”提供理论依据。

综合上述，可归纳如下。

1. 绝缘在线监测技术是电力系统安全性的需要

在国内外高电压技术的研究重点转向如何安全供电及如何节约能源方向来的时候，变电站绝缘在线监测系统的运行，极大地方便了工程技术人员掌握变电站运行设备的状况。

2. 为设备的“状态维修”提供技术支持及理论依据

目前，国外电力系统已开始采用“状态维修”（即根据各设备具体情况，决定其维修时间）方法对设备进行维修。“状态维修”在我国处于摸索阶段。其瓶颈问题是无法掌握运行中设备的绝缘状况。绝缘在线监测系统的使用就可提供所需要的数据。

3. 是无人值班变电站必备的监测设备

根据企业减员增效的要求，110kV 及以下的变电站采用无人值班形式，因此对其设备绝缘状况的了解，可通过绝缘在线监测系统进行。

4. 有利于电力系统的绝缘监督网的建立

绝缘在线监测系统与电力系统管理网络相结合后，将使其智能化程度增大。并可建立整个电力系统的绝缘监督网。

1.2 电气设备绝缘的特征量

电气设备绝缘状态通常是通过几个特征量来表示：

(1) 局部放电量，放电位置。设备内部绝缘（油、纸）若存在杂质、气泡，它会导致其内部放电，日长月久就可能造成放电部位扩大，最后击穿。因此及早的监测其放电量 and 放电位置，并及时维修处理，可避免大事故发生。但开始发生放电时，其放电量很小，难以测量及定位。

(2) 介质损耗因数 ($\text{tg}\delta$)。它是表明设备绝缘状态的重要参数之一，当测得设备的 $\text{tg}\delta$ 大时，说明设备绝缘受潮，电导电流增大或内部有局部放电，设备正常时其 $\text{tg}\delta$ 值在 0.1% ~ 0.8% 之间。

(3) 泄漏电流。对于一些设备不能测量 $\text{tg}\delta$ 值时,也可用测量泄漏电流方法确定设备绝缘受潮或损坏程度。

(4) 设备电容值。设备中若进水时,其电容值会增大,但漏油时,其电容值会减少,按规程规定当电容值的偏差超出额定值 $-5\%\sim 10\%$ 范围,应停电检查。

上述4项特征参数中,局部放电是反映绝缘状态最灵敏的量,其次 $\text{tg}\delta$ 值、电容值、泄漏电流也可反映绝缘状况。

但在变电站现场中,有载波通信干扰,外部带电物体的电晕放电及工作场所电焊,接地系统干扰等,要想在这种复杂的干扰中测出局部放电量是极其困难的课题。

1.3 绝缘在线监测系统功能

绝缘在线监测系统监测对象概括起有下列几种:

- (1) 变压器、电抗器的局部放电量监测及定位。
- (2) 容性电气设备(包括电流互感器、电容式电压互感器、耦合电容器、变压器及电抗器套管)的介质损耗因数、电容量的监测。
- (3) GIS(气体绝缘封闭式组合电器)局部放电在线监测及定位。
- (4) 发电机绝缘局部放电在线监测。
- (5) 电缆绝缘介质损耗,泄漏电流及局部放电量监测。
- (6) 避雷器的泄漏电流及其有功分量的监测。
- (7) 瓷绝缘子的污秽泄漏电流的监测。
- (8) 少油开关绝缘拉杆泄漏电流的监测。
- (9) 系统母线电压谐波监测。

系统应具备以下功能:

- (1) 实现变电站全部一次电气设备绝缘参数的自动巡回监测。
- (2) 实现变电站母线电压谐波测量。
- (3) 一次电气设备绝缘参数越限自动报警。
- (4) 一次电气设备绝缘参数的管理和档案存储。
- (5) 一次电气设备绝缘参数测量结果的显示打印。

绝缘在线监测系统软件需要达到下列要求:

- (1) 定时对变电站所有设备进行巡回检测,对每一台设备的不同绝缘参数进行数据处理、存储及越限值报警。
- (2) 在发现某一设备出现故障时,能退出定时自动巡检过程。对故障设备进行定向定时监测,同时显示数据和波形。
- (3) 在用户需要时,可退出定时巡回检测过程。实行实时巡检或定向检测,同时显示结果。
- (4) 采用中文菜单和中文数据表格。数据以表格、曲线及直方图形式显示,并可打印出来。
- (5) 越限值报警可采用机内蜂鸣器及光字牌显示相结合的声光报警方式。

1.4 绝缘在线监测系统基本结构

1. 绝缘在线监测系统基本框图

绝缘在线监测系统是融合了高电压技术、电子技术、计算机技术以及传感器技术的一门新学科、新技术。它要对电气设备在高电压作用下各种现象及规律有足够的了解，又要求采用最新的电子技术及计算机技术来实现其自动化，传感器技术将使设备在高电压下的参数变换成计算机、电子设备能够接受的参数。到目前为止，满足 1.3 节中阐明的绝缘在线监测功能的实施方案很多，但基本原理是一样的，本节将基本框图叙述于下，见图 1-1。

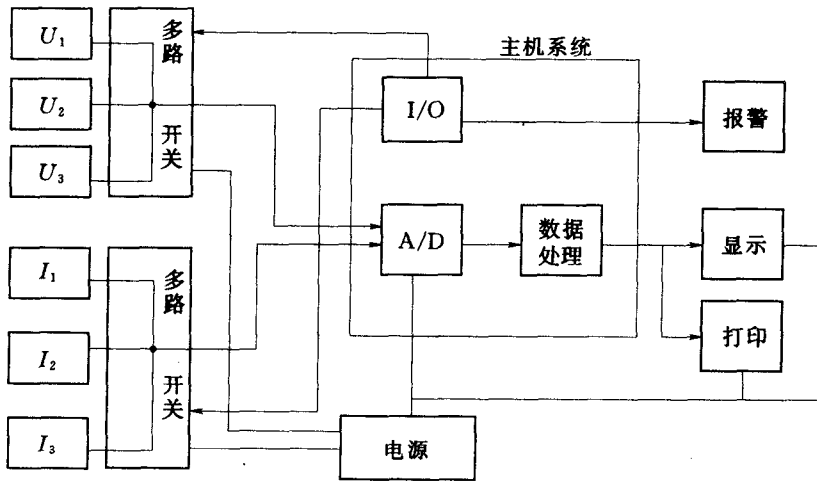


图 1-1 绝缘在线监测系统基本框图

2. 绝缘在线监测系统基本部件

从图 1-1 可以看出绝缘在线监测系统最低限度包括下列几个部分：

- (1) 电压传感器（将系统电压转换为在线监测系统能接受的电压）。
- (2) 电流传感器（将被检设备的电流转换成在线监测系统能接受的电压）。
- (3) 多路开关（分时将被测信号送入采样系统）。
- (4) A/D 转换（将模拟信号转换成数字信号）。
- (5) I/O 卡将系统指令传至各有关部分。
- (6) 报警（给出设备故障信号）。
- (7) 显示、打印（输出测量结果）。
- (8) 数据处理分析软件系统。
- (9) 电源。

1.5 电气设备绝缘在线监测项目与预防性试验项目比较

在我国已经有完善预防性试验体系对电气设备绝缘进行定期检测^[27]，而这些项目中每

一项是否能在运行中进行在线监测呢？从目前已经有的绝缘在线监测装置来看，答案是否定的。由于设备的一些绝缘特性测量并不都是在运行接线状态下进行测量，而是在停电时采用一些特殊接线及步骤来进行。因此这些参数不可能在在线监测时得到。本节将列举主要电气设备绝缘在线监测项目与预防性试验项目对比，以便更好地利用绝缘在线监测数据来分析设备的绝缘状态。

1. 变压器（见表 1-1）

表 1-1 变压器预防性试验项目与绝缘在线监测项目比较

试验类别 序号	绝缘预防性试验	绝缘在线监测
1	绕组绝缘电阻测量， $\text{tg}\delta$ 值测量，包括： 高中压——低压、地 低压——高、中压，地 高、低压——地 铁芯——地	铁芯泄漏电流测量
2	绕组直流泄漏电流测量，包括： 高、中压——低压，地 低压——高、中压，地	
3	绕组直流电阻试验，包括： 高压 中压 低压	
4	套管 $\text{tg}\delta$ 值及电容量测量，包括： 高压 中压 低压	套管 $\text{tg}\delta$ 值及电容量测量，包括： 高压 中压 低压
5	套管主绝缘——地绝缘电阻、吸收比测量； 末屏——地绝缘电阻测量	
6	变压器油中溶解气体色谱分析	变压器油溶解气体色谱分析
7	变压器油化学分析	
8	套管油中溶解气体色谱分析	
9	套管油化学分析	
10	变压器局部放电试验	变压器局部放电监测及定位
11	套管局部放电试验	

2. 发电机（见表 1-2）

3. 电流互感器（见表 1-3）

4. 电磁式电压互感器（见表 1-4）

5. 耦合电容器、电容式电压互感器（见表 1-5）

6. 电力电缆（见表 1-6、表 1-7）

表 1-2

发电机预防性试验项目与绝缘在线监测项目比较

序号	试验类别	绝缘预防性试验	绝缘在线监测
1		定子绕组的绝缘电阻, 吸收比或极化指数测量	
2		定子绕组的直流电阻	
3		定子绕组泄漏电流和直流耐压试验	
4		定子绕组交流耐压试验	
5		转子绕组的绝缘电阻	
6		转子绕组的直流电阻	
7		转子绕组交流耐压试验	
8		定子绕组端部手包绝缘施加直流电压测量	
9		定子绕组绝缘老化鉴定	
10			发电机局部放电监测

表 1-3

电流互感器预防性试验项目与绝缘在线监测项目比较

序号	试验类别	绝缘预防性试验	绝缘在线监测
1		绕组及末屏的绝缘电阻	
2		$\text{tg}\delta$ 值及电容量	$\text{tg}\delta$ 值及电容量
3		油中溶解气体色谱分析	
4		交流耐压试验	
5		局部放电测量	
6		绝缘油击穿电压	
7			一次绕组与二次绕组之间的泄漏电流 (套管无末屏电流互感器)
8			电流互感器局部放电监测

表 1-4

电磁式电压互感器预防性试验项目与绝缘在线监测项目比较

序号	试验类别	绝缘预防性试验	绝缘在线监测
1		绝缘电阻	
2		$\text{tg}\delta$ 值 (20kV 及以上)	
3		油中溶解气体的色谱分析	
4		交流耐压试验	
5		局部放电测量	
6		铁芯夹紧螺栓 (可接触到的) 绝缘电阻	
7		绝缘油击穿电压	
8			一次电流
9			一次绕组与二次绕组间泄漏电流
10			电压互感器局部放电监测

表 1-5 耦合电容器、电容式电压互感器预防性试验项目与绝缘在线监测项目比较

序号	试验类别	绝缘预防性试验	绝缘在线监测
1		极间绝缘电阻	
2		电容值	电容值
3		tgδ 值	tgδ 值
4		低压端对地绝缘电阻	
5		局部放电试验	
6		交流耐压试验	
7		中间变压器的绝缘电阻 (电容式电压互感器)	
8		中间变压器的 tgδ 值 (电容式电压互感器)	
9			耦合电容器、电容式电压互感器局部放电监测

表 1-6 橡塑电力电缆预防性试验项目与绝缘在线监测项目比较

序号	试验类别	绝缘预防性试验	绝缘在线监测
1		电缆主绝缘绝缘电阻	绝缘电阻, tgδ 值
2		电缆外护套绝缘电阻	
3		电缆内衬层绝缘电阻	
4		电缆主绝缘直流耐压试验	
5			电缆局部放电监测

表 1-7 自容式充油电缆预防性试验项目与绝缘在线监测项目比较

序号	试验类别	绝缘预防性试验	绝缘在线监测
1		电缆主绝缘直流耐压试验	
2		电缆外护套和接头外护套的直流耐压试验	
3		压力箱电缆油击穿电压, tgδ 值	
4		电缆及附件内的电缆油: 击穿电压, tgδ 值, 油中溶解气体	
5			电缆局部放电监测

7. 氧化锌避雷器 (见表 1-8)

表 1-8 氧化锌避雷器预防性试验项目与绝缘在线监测项目比较

试验类别 序号	绝缘预防性试验	绝缘在线监测
1	绝缘电阻	
2	直流 1mA、电压 U_{1mA} 及 $0.75U_{1mA}$ 以下的电流	
3	运行电压下的交流泄漏电流	
4	底座绝缘电阻	
5		运行电压下泄漏电流及其有功分量

8. SF₆ 断路器和 GIS (见表 1-9)

表 1-9 SF₆ 断路器和 GIS 绝缘预防性试验项目与绝缘在线监测项目比较

试验类别 序号	绝缘预防性试验	绝缘在线监测
1	SF ₆ 气体泄漏试验	
2	耐压试验	
3	断口间并联电容器的绝缘电阻、电容量和 $\text{tg}\delta$ 值	
4	GIS 中的电流互感器、电压互感器和避雷器	
5		局部放电监测

9. 支柱绝缘子和悬式绝缘子 (见表 1-10)

表 1-10 支柱绝缘子和悬式绝缘子绝缘预防性试验项目与绝缘在线监测项目比较

试验类别 序号	绝缘预防性试验	绝缘在线监测
1	零值绝缘子检测 (66kV 及以上)	
2	绝缘电阻	
3	交流耐压试验	
4	绝缘子表面污秽物的等值盐密	盐密监测
5		运行电压下表面泄漏电流

1.6 电气设备绝缘在线监测和状态维修技术应用

从 20 世纪 80 年代开始, 电气设备绝缘在线监测在国内外得到广泛的研究并取得了很大进展。最先, 人们的注重点是设备内部局部放电的监测, 特别是变压器局部放电的在线监测。日本、加拿大等国使用超声及电气测量法对变压器局部放电在线监测进行了研究, 加

拿大 IREQ 研制了包括电信号及油中气体组分监测两部分组成的监测系统。日本东京电力公司、东芝公司等研制了电流脉冲和超声波两种检测方法的自动在线局部放电监测系统。我国东北电力试验研究院采用比较变压器外壳接地线和电流互感器电容末屏接地线中的两个脉冲电流方法测变压器内部局部放电。

内蒙古电力试验研究所辛瀑等专家在 20 世纪 80 年代开始了对设备绝缘 $\text{tg}\delta$ 值、电容值、泄漏电流等的在线监测研究。

由于绝缘在线监测是对传统的绝缘预防性试验的挑战，因而投入研究的人员及资金在 20 世纪 90 年代大量增加，对所获得的数据进行了分析比较，并提出一系列问题：

- (1) 在线监测测量准确度如何？
- (2) 在线监测数据的稳定性怎样？
- (3) 在线监测的技术标准如何建立等等？

在初期阶段研究中，人们将所研制的系统用于变电站一次设备运行监测中。在使用中逐渐发现初期研制的监测系统存在着很多问题，诸如监测数据不准确，无法排除现场干扰，电子器件经常损坏，无法稳定工作等等。

因此进一步的研究也变得更加实际，更加细致深入。而且这种在线监测技术也扩展到一次电气设备各个领域。

(一) 容性电气设备绝缘在线监测研究

容性电气设备绝缘在线监测向着下列几个方向发展：

- (1) 提高测量系统的测量准确度，这主要从传感器及采样、滤波等环节着手改善测量精度。
- (2) 进行设备间测量结果的横向及纵向比较，采用排除法找出有故障缺陷的设备。

(二) 变压器、电机、电缆、互感器和 GIS 局部放电在线监测研究

国外研究的重点是电气设备的局部放电在线监测，而国内则偏重于绝缘参数测量

1. 变压器

变压器的绝缘在线监测是国内外技术人员的研究重点，相对于其他电气设备而言技术比较成熟。它包括：

- (1) 变压器套管的 $\text{tg}\delta$ 、 C 监测。
- (2) 变压器铁芯泄漏电流监测。
- (3) 变压器局部放电监测及定位。
- (4) 变压器油中气体组分监测。

国外较流行的方法是变压器油中气体组分的检测。重庆大学研制的 BSZJ-IV 型变压器油中六种溶解气体在线监测装置，已在多个变电站应用。美国 TrueGas 公司也研制了变压器油中气体组分监测装置，其监测效果也比较好。

国内清华大学、武汉高压研究所等研究电气测量、超声定位、干扰平衡等方法。武汉高压研究所及作者研究的电气定位法结合扩大差动平衡法获得较大成功。电气定位法的基本原理是利用变压器绕组在特定频率范围内等值电路的特点，导出变压器绕组内部产生局部