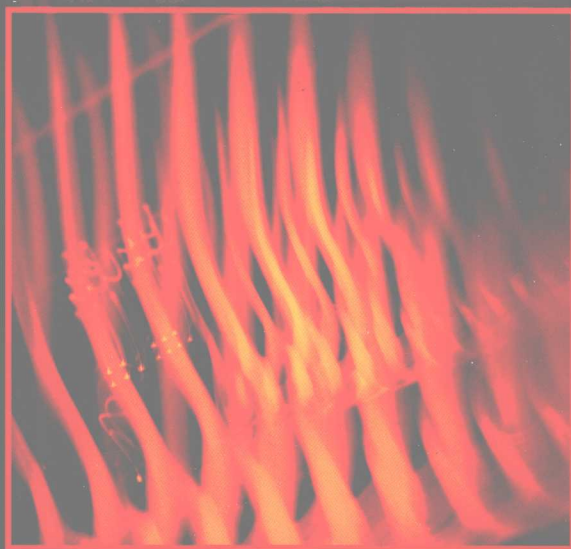




电力科技专著出版资金资助项目

DIANQI SHEBEI
ZHUANGTAI
JIANCE YU
GUZHANG
ZHENDUAN JISHU

电气设备状态 监测与故障 诊断技术



朱德恒 严璋 谈克雄等 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



电气设备状态监测 与故障诊断技术

朱德恒 严璋 谈克雄等 编著

电力科技专著出版资金资助项目



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书介绍了电力设备状态监测与故障诊断技术的原理与应用。全书共两篇，十七章。第一篇为技术基础，主要介绍绝缘老化、诊断技术中的信号处理与模式识别以及诊断专家系统等；第二篇为技术应用，分别介绍各类电力设备如变压器、旋转电机、开关设备等的监测与诊断技术。

本书可供电力部门或其他行业的动力部门从事电力基建、运行、维护及试验人员参考，也可作为高等学校高电压与绝缘技术、电力系统及其自动化等专业本科生或研究生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气设备状态监测与故障诊断技术/朱德恒等编著.
北京:中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-7710-0

I. 电… II. 朱… III. ①电气设备-监测②电气设备-故障诊断 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 111768 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>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 3 月第一版 2009 年 3 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.75 印张 627 千字
印数 0001—3000 册 定价 58.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

电气设备状态监测及故障诊断技术为电力系统的状态维修提供了技术基础，对提高电力系统安全可靠运行十分重要。清华大学和西安交通大学相关的课题组长期从事这方面的教学及研究，国家自然科学基金委员会通过一系列的项目，一贯给予了大力支持，特别是1995年批准了九五重点项目“大型发电机与变压器放电性等故障的在线监测与诊断技术”。两校有关教师根据自己多年的科研及教学实践及国内外的最新科研成果，编著了本书，希望能为推动国内的状态维修工作发挥一定作用。

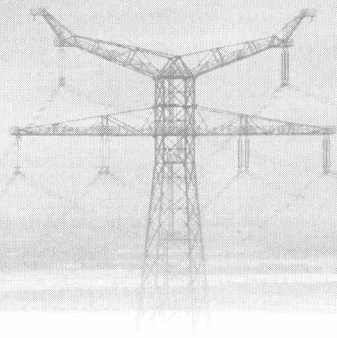
本书分两篇，共十七章。第一篇为技术基础，共七章，介绍了诊断技术中的信号处理、模式识别及诊断专家系统等技术基础；第二篇为技术应用，共九章，分别介绍技术应用知识，叙述各类电力设备如变压器、旋转电机、开关设备等的状态监测及故障诊断技术。

本书编写分工如下：朱德恒编写第一、二、五（第五章由朱德恒和谈克雄合作编写）、十三（除第三、五节外）及十七章（除第一节外）；严璋编写第七、九章及第十三章第三节；谈克雄编写第四、六及十章；钱家骊、关永刚、黄瑜琬合作编写第十一章；钱家骊、刘卫东、关永刚合作编写第十二章；钱家骊、常越合作编写第十五章；刘卫东编写第十三章第六节；王昌长编写第三、八及第十六章；李彦明编写第十三章第五节；李福棋编写第十四章（除第十一节外）和第十七章第一节；邱阿瑞编写第十四章第十一节。全书由朱德恒、严璋、谈克雄统稿。

编写过程中，得到国家自然科学基金会、电力部门如中国电力企业联合会及国家电网公司东北公司等单位的支持，特表示诚挚的谢意。中国电力科学研究院教授级高工李启盛审阅了全稿，并提出了不少宝贵意见，也一并致以深切谢意。

由于本项技术发展迅速，疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者



目 录

前言

第一篇 技 术 基 础

第一章 绪论	3
参考文献	11
第二章 绝缘的老化	12
第一节 概述	12
第二节 热老化	12
第三节 电老化	14
第四节 机械老化	17
第五节 环境老化	17
第六节 多应力老化	18
参考文献	20
第三章 可靠性评估与失效分析	21
第一节 可靠性指标	21
第二节 截尾寿命试验	26
第三节 可靠性评估	28
第四节 电力设备的失效分析	35
第五节 以可靠性为中心的维修策略	43
参考文献	50
第四章 诊断技术中的信号处理方法	52
第一节 概述	52
第二节 窄带干扰抑制(一)——自适应处理器	53
第三节 窄带干扰抑制(二)——频域处理	56
第四节 窄带干扰抑制(三)——小波分析	58
第五节 白噪抑制	64
第六节 脉冲干扰抑制	66
第七节 数据处理	67
参考文献	75
第五章 诊断方法	77
第一节 依据规则的诊断分类	77
第二节 电力设备诊断举例	86

参考文献	92
第六章 特征提取和模式识别	93
第一节 模式识别概念	93
第二节 依据样板的故障诊断	93
第三节 特征提取	98
第四节 基于距离的模式归类法	112
第五节 基于人工神经网络的模式识别	118
参考文献	126
第七章 诊断专家系统	128
第一节 概述	128
第二节 知识的表达方式	129
第三节 推理诊断系统	133
第四节 诊断系统的构造	136
第五节 诊断系统举例	138
参考文献	150
第八章 传感器	153
第一节 温度传感器	153
第二节 红外线传感器	154
第三节 振动传感器	158
第四节 电流传感器	159
第五节 电压传感器	165
第六节 气敏传感器	168
第七节 湿敏传感器	171
参考文献	174

第二篇 技术应用

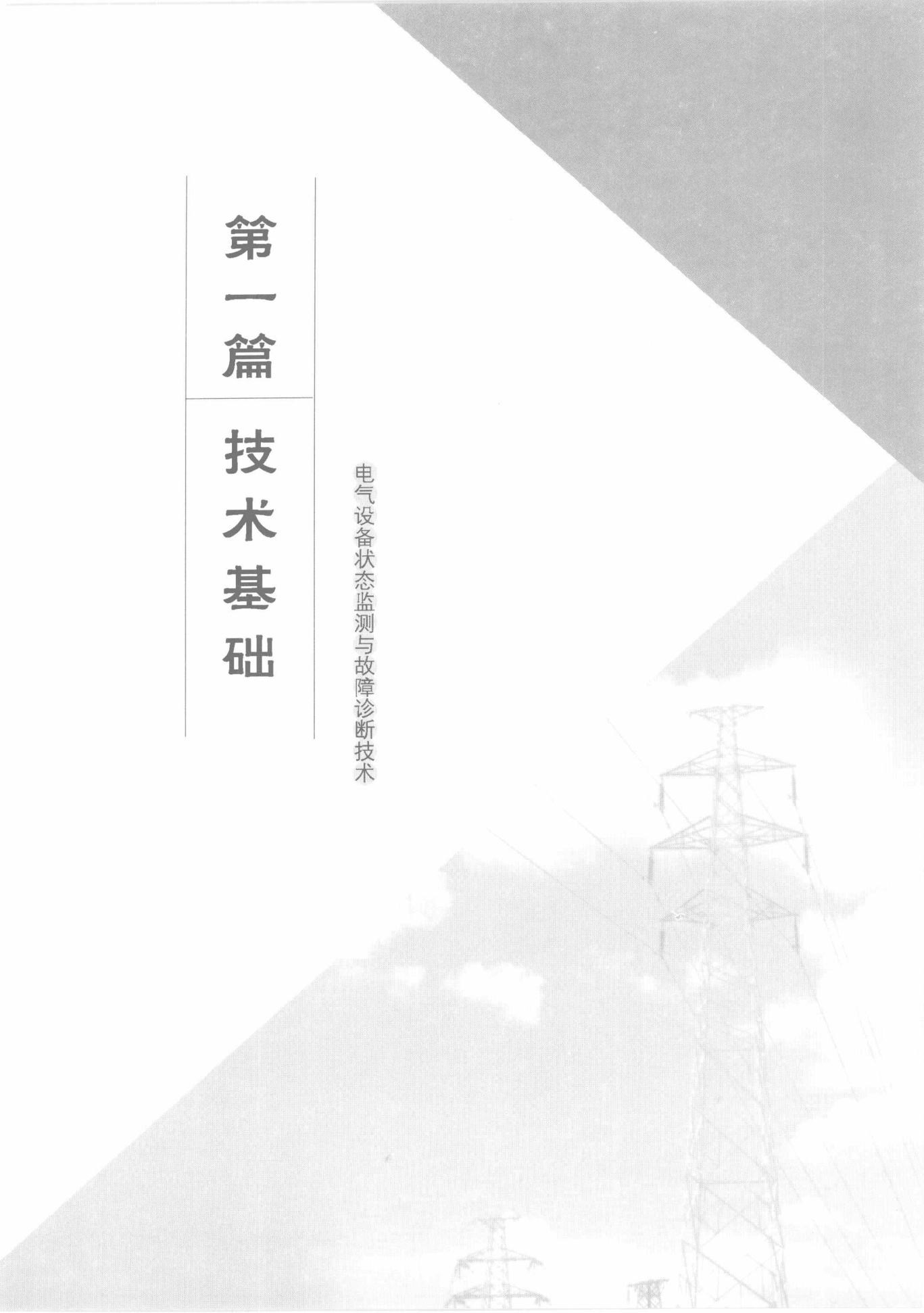
第九章 电容型设备的监测与诊断	179
第一节 概述	179
第二节 运行中电容型试品的检测	180
第三节 电容型设备的故障诊断	189
参考文献	192
第十章 电力电缆的监测与诊断	194
第一节 电力电缆	194
第二节 交联聚乙烯绝缘电力电缆	195
第三节 XLPE 电缆的离线检测	198
第四节 绝缘电阻在线监测	201
第五节 介质损耗因数与接地电流在线监测	206
第六节 局部放电在线监测	207
第七节 电缆故障点定位方法	209

参考文献	211
第十一章 高压开关设备的监测和诊断	213
第一节 概述	213
第二节 监测原理	216
参考文献	229
第十二章 高压开关设备绝缘的监测和诊断	230
第一节 SF ₆ 气体泄漏的监测	230
第二节 真空灭弧室真空度的在线监测	231
第三节 高压开关柜局部放电监测	234
第四节 充 SF ₆ 气体高压开关设备局部放电监测	237
参考文献	243
第十三章 变压器的监测与诊断	244
第一节 概述	244
第二节 局部放电	244
第三节 变压器油中溶解气体的监测与诊断	272
第四节 变压器油中微水含量的监测	286
第五节 绕组变形的监测与诊断	289
第六节 有载调压变压器分接开关在线检测	295
参考文献	298
第十四章 旋转电机的监测与诊断	303
第一节 概述	303
第二节 定子绕组局部放电	305
第三节 发电机转子主绝缘和平均温度的在线监测	313
第四节 发电机气隙磁通密度的监测	315
第五节 发电机气隙间距的在线监测	317
第六节 发电机轴电压监测	318
第七节 励磁碳刷火花强度在线监测	320
第八节 发电机的稳定运行监测	322
第九节 电机热解微粒和气体成分的监测	325
第十节 发电机氢气湿度的监测	327
第十一节 电机振动的监测	330
第十二节 发电机状态综合监测系统	335
第十三节 笼型异步电动机转子断条故障	339
参考文献	344
第十五章 金属氧化物避雷器的监测与诊断	345
第一节 概述	345
第二节 在线监测和故障诊断方法	351
第三节 在线监测实际问题	356
参考文献	358

第十六章 红外诊断技术	360
第一节 红外点温仪	360
第二节 红外热电视	364
第三节 红外热像仪	366
第四节 电气设备的红外检测与诊断技术	372
参考文献	379
第十七章 远程诊断与虚拟医院	380
第一节 分布式监测诊断系统	380
第二节 远程诊断	394
第三节 电力设备虚拟医院	397
参考文献	400

第一篇 技术基础

电气设备状态监测与故障诊断技术



第一章

绪 论

一、状态监测与故障诊断技术的含义

“诊断 (Diagnosis)” 一词原是一医学名词，它的含义是“根据症状来识别病人所患何病”。从智能理论的观点来看，诊断是医生收集病人症状（包括医生的感观、病人的主观陈述以及各种化验检测所得的结果），并根据症状进行分析处理，以判断患者的病因、严重程度，从而确定对患者的治疗措施与方案的过程。

电气设备绝缘诊断技术借用了上述概念，其含义是：通过对电气绝缘的试验和各种特性的测量，了解及评估设备在运行过程中的状态，从而能早期发现故障的技术。“试验和测量”是“诊”，“识别和评估”是“断”，这是对诊断技术广义的了解。

狭义而言，“诊断”指故障诊断，指特征量收集后的分析判断过程，而特征量的收集过程称为“检测”或“监测”（连续或随时进行的检测），例如称为“状态监测与故障诊断 (Condition Monitoring and Failure Diagnosis)”。

本书采用的是广义的含义。

二、状态监测与故障诊断技术的意义

电气设备由绝缘材料、导电、导磁材料及结构材料构成。绝缘材料大多为有机材料，如矿物油、绝缘纸、各种有机合成材料等。在运行中，由于受到电、热、机械、环境等各种因素的作用，绝缘材料容易逐渐劣化，造成设备故障，引起供电中断。设备绝缘结构性能的好坏，往往成为决定整个电气设备寿命的关键所在。例如，有报导对 110kV 及以上的电力变压器的 93 次事故原因分析，其中由于匝间绝缘、引线及对地绝缘、套管绝缘所引起的各种事故约分别占 43%、23%、15%，而铁芯、分接开关等非绝缘事故仅占 20% 以下。

电力设备，特别是大型高压设备，发生突发性停电事故，会造成巨大的经济损失和不良的社会影响。提高电力设备绝缘的可靠性，一种办法是提高设备的质量，选用优质材料及先进工艺，优化设计，合理选择设计裕度，力求在工作寿命内不发生故障。但这样会导致制造成本增加。此外，设备在运行中，总会逐渐老化，而大型设备不可能像一次性工具那样、“用过即丢”。因此另一方面，必须对设备进行必要的检查和维修，这构成了电力运行部门的重要工作内容。

早期是对设备使用直到发生故障，然后维修，称为事后维修。但是，如前所述，对于大型设备，突发性事故将造成巨大损失。

其后，发展成定期试验和维修，即预防性维修。现在，定期预防性试验和维修已在电力部门形成制度，对减少和防止事故的发生起到了很好的作用。但预防性试验是离线进行的，

有很多不足之处：

- (1) 需停电进行试验，而不少重要电力设备，轻易不能停止运行。
- (2) 停电后设备状态（如作用电压、温度等）与运行中不符，影响判断准确度。
- (3) 由于是周期性定期检查，而不是连续地随时监测，绝缘仍可能在试验间隔期内发生故障。

(4) 由于是定期检查和维修，设备状态即使良好时，按计划也需进行试验和维修，造成人力物力浪费，甚至可能因拆卸组装过多而造成损坏，即造成所谓过度维修。

因此，目前正在发展起以状态监测（通常是在线监测）和故障诊断为基础的状态维修。其基本原理可简述如下：绝缘的劣化、缺陷的发展虽然具有统计性，发展的速度也有快慢，但大多具有一定的发展期。在这期间，会有各种前期征兆，表现为其电气、物理、化学等特性有少量渐进的变化。随着电子、计算机、光电、信号处理和各种传感技术的发展，可以对电力设备进行在线状态监测，及时取得各种即使是很微弱的信息。对这些信息进行处理和综合分析后，根据其数值的大小及变化趋势，可对绝缘的可靠性随时作出判断并对绝缘的剩余寿命作出预测，从而能早期发现潜伏的故障，必要时可提供预警或规定的操作。状态监测（在线监测）与故障诊断技术的特点是可以对电力设备在运行状态下进行连续或随时监测与判断，故可避免上述预防性试验的缺点。

在线试验和离线试验也不是对立的，而是相辅相成的。如在线监测中发现事故隐患后，必要时在离线状态下进行更为彻底的全面检查，如图 1-1 所示。

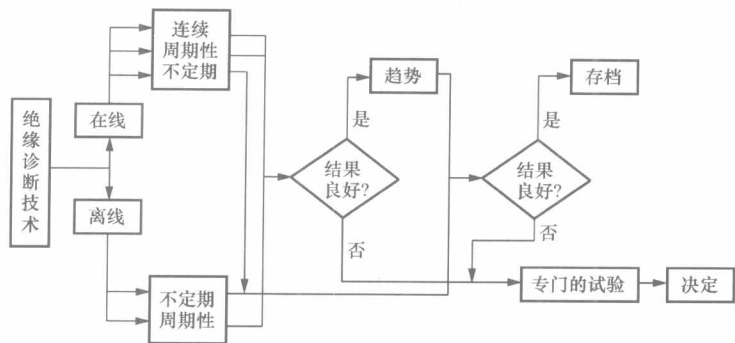


图 1-1 电气设备诊断过程流程图示意图

采取状态监测与故障诊断技术后，可以使预防性维修向预知性维修即状态维修过渡，从“到期必修”过渡到“该修则修”。

绝缘在线诊断技术有很大的难度。绝缘潜伏性故障前期征兆的信号通常极为微弱，而运行条件下现场又存在强烈的电磁干扰。因此，抑制各种干扰，提高信噪比是在线监测中首先必须解决的难题。此外，监测的各种特征量和绝缘的状态通常也不是一一对应的，而具有错综复杂的关系。如果说离线的预防性试验结果的分析，已经积累了大量经验，据此可以制订出相应的规程推广施行（当然也需根据科学技术的发展，不断加以修订补充），那么对于在线诊断，现在仍还处于研究、试运行、积累经验的阶段。发展绝缘在线诊断技术，既需对绝缘结构及其老化机理有深入的了解，也需应用传感、微电子等高新技术。它是具有交叉学科性质的一门新兴技术，有重大的学术意义，也有显著的经济价值。

但是，任何提高或保证安全措施采用都要以技术经济比较为基础。即采取在线监测增



加的投资（包括设备与维护费用）应该少于由于定期检测所不能发现的缺陷所造成的事故损失（包括设备损失和停电损失），以及由于定期检测需要停电所造成的停电损失。前者决定于设备的事故率，后者则与电力系统的缺电情况有关。由于历史原因，十年动乱所造成的设备质量下降，20世纪70~80年代的事故率较高，促进了在线监测以防止设备突发性事故的工作。另一方面，近年缺电比较严重，再次造成需要停电进行定期检测的困难，也是在线监测技术的推动力。因此，我国电力设备在线监测技术的研究和使用单位，比许多发达国家要多。但是，也有一部分专家认为：随着设备质量的提高，设备的某些突发性故障在减少。严重缺电也只是一定期期的境况。至于设备的状态维修，并不是必须与在线监测连在一起的，如果定期检测（包括一些不需要停电进行的检测）是有效的，也可以根据设备的状态安排状态维修，因而不必要花费大量的人力物力安装大量的在线监测设备“守株待兔”式地处理偶然的突发事故。

三、状态监测与故障诊断技术的发展概况

国外对绝缘在线监测技术的研究，始于20世纪60年代。各发达国家都很重视。但直到20世纪70~80年代，随着传感、计算机、光纤等高新技术的发展与引用，绝缘在线诊断技术才真正得到迅速发展。加拿大、日本、苏联等国陆续研制了油中溶解气体，变压器、发电机、气体绝缘封闭组合电器（GIS）等的局部放电，电容型绝缘的介质损耗因数（ $\tan\delta$ ）等特性，交链聚乙烯电缆的泄漏电流等等在线监测系统。其中少数已发展成为正式产品。国际大电网会议于1990年发表了关于电气设备绝缘诊断技术的综述性论文^[1]，对截至20世纪80年代末在这一领域的研究成果作了系统的总结。

我国对在线诊断技术的重要性也早有认识，20世纪60年代就提出过不少带电试验的方法，但由于操作复杂，测量结果分散性大，没有得到推广。80年代以来，随着高新技术的发展与引用，我国的绝缘在线诊断技术也得到了迅猛发展。由于我国工业发展迅速，用电一直紧张，加之部分电力设备故障率较高，因此对于推行在线诊断技术以提高电力系统的运行可靠性，更形迫切。我国电力部门的很多科研院所和高等学校的不少有关专业都相继开展了这方面的研究。自1985年以来，由电力部主持，先后三次（分别在安徽、湖北、广东三省）召开了“全国电力设备绝缘带电测试、诊断技术交流会”，不仅进行了学术交流，而且就如何发展和推广在线诊断技术开展了讨论。可以认为，我国绝缘在线诊断技术的研究和国际上是同步发展的，处于几乎相同的水平。

由于在线诊断技术的难度，无论是国内，还是国外，除个别项目以外，大多还没有很成熟，仍处于研究发展阶段。由于客观的需要，相信绝缘在线诊断技术一定能迅速发展成长，从而对提高电力系统的运行水平发挥巨大的作用。

（一）应用领域

参考文献 [2] 总结了我国绝缘诊断技术现状及发展趋势，列出了如下几个应用较广的方面：

1. 油浸纸绝缘设备的油中溶解气体分析（DGA）

我国现在有数以千计的气相色谱装置用于油中溶解气体分析。大量设备的潜在缺陷被检出，特别是局部过热及电弧放电的早期故障。所以油中溶解气体分析越来越得到重视。为了及时检出缺陷，研发了油中溶解气体现场分析技术，已有进口的及国内研发的系统用于生产。有的分析技术是选用特殊的气体传感器，如选用对 H_2 或 C_2H_2 特别敏感的传感器，这比

色谱分析法价格便宜。但传感器及富集气体的塑料薄膜通常工作的稳定性还需继续研究。也有的单位研制现场用气相色谱分析仪器，可检出如 CH_4 、 C_2H_6 、 CO 、 CO_2 等各种特征气体，见图 1-2，还有的单位在研发基于光谱分析的 DGA 装置。

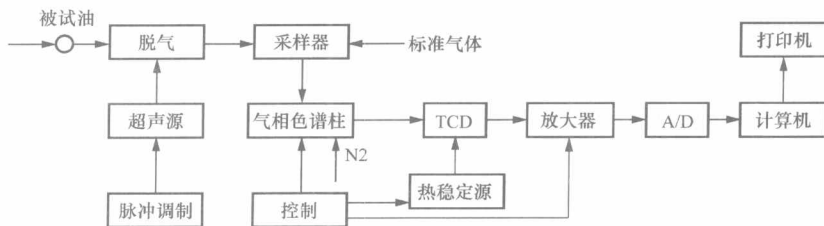


图 1-2 一种现场用气相色谱分析仪器的流程图

2. C 、 $\tan\delta$ 或 I_R 现场测量系统

进行预防性试验、检测电容 (C) 及 $\tan\delta$ 时，试验电压为 AC 10kV，远低于运行电压 $110/\sqrt{3}\text{kV}$ 或 $220/\sqrt{3}\text{kV}$ ，因而结果不准确，所以 C 及 $\tan\delta$ 的在线监测得到应用。从 20 世纪 70 年代以来，从苏联引入了在线监测不平衡电流或电压的技术，现在已有相当多的便携式或固定式 $\tan\delta$ 自动测量系统 (图 1-3) 得到应用，其原理为采用快速傅里叶变换对测得的 U_i 或 U_u 进行数字积分以求得 $\tan\delta$ 。电流互感器 (TA) 及电压互感器 (TV) 的相位误差对 $\tan\delta$ 的测量有严重影响，特别当试品的 $\tan\delta$ 值很小时。此外设备间的耦合影响、不同的运行方式等也会产生很大的影响。采用类似原理还研发了金属氧化物避雷器的电流、阻性电流分量 I_R 及功率损失的在线监测装置。

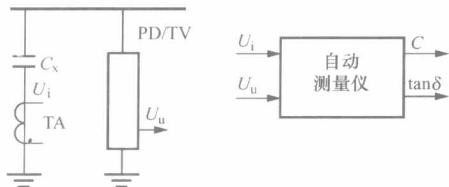


图 1-3 C 和 $\tan\delta$ 的在线监测系统原理图

此外设备间的耦合影响、不同的运行方式等也会产生很大的影响。采用类似原理还研发了金属氧化物避雷器的电流、阻性电流分量 I_R 及功率损失的在线监测装置。

3. 局部放电 (PD) 的在线监测

为了进行局放现场试验，研发了特殊的试验车，载有无电晕、可调压的高压电源，包括电动机—发电机组、中间变压器、标准电容器、PD 测量仪等。在线监测 PD 时采用传感器检测 PD 的高频脉冲信号和声发射信号，数字滤波器可以抑制各种电磁干扰，以提取有用信息。对于 GIS，可检测 PD 的特高频信号。为了诊断故障，对人工神经网络等模式的识别方法也进行了大量研究。

4. 绕组变形的检测

变压器的故障有不少是由于短路，特别是近区短路，引起的。因此，对变压器绕组变形的检测可检出潜在故障。我国现广泛采用频率响应法和低压脉冲法检出变压器绕组变形引起的潜伏故障。

5. 综合诊断技术和专家系统

由于测得的数据如电阻 (R)、 $\tan\delta$ 、PD、DGA 等和被测设备的介电强度没有简单直接的对应关系，所以对测得数据作综合分析以诊断故障十分重要。为了提高综合诊断的准确度，人工神经网络、模糊逻辑、小波分析等新技术正得到研究，以用于故障诊断技术。

(二) 应用状况

国内对在线监测技术十分重视，研发了不少仪器，但毕竟这是新生事物，还存在不少问



题。中国电力科学研究院曾组织专人对国内的开发应用状况进行了调研分析,结果见参考文献 [3]。该文通过对全国 127 个变电站的电力设备在线监测系统的安装和使用情况的调查及统计,分析总结了该系统的生产和使用现状,从技术和管理的角度指出了存在的问题及今后研究的方向。

我国开展电力设备在线监测技术的开发应用已有十几年了,此项工作对提高电力设备的运行维护水平、及时发现事故隐患、减少停电事故的发生起到了积极作用。

我国从 20 世纪 50 年代开始,几十年来一直根据电力设备预防性试验规程的规定,对电力设备进行定期的停电试验、检修和维护。定期试验不能及时发现设备内部的故障隐患,而且停电试验施加低于运行电压的试验电压,对某些缺陷反映也不够灵敏。

随着电力系统朝着高电压、大容量的方向发展,保证电力设备的安全运行越来越重要,停电事故给生产和生活带来的影响及损失也越来越大。因此迫切需要对电力设备运行状态进行实时或定时的在线监测,及时反映绝缘的劣化程度,以便采取预防措施,避免停电事故发生。

进入 20 世纪 80 年代以来,电力设备在线监测技术发展很快,绝大多数变电站设备及发电机、电缆、线路绝缘子等都有在线监测项目。随着电子技术的进步和传感器技术、光纤技术、计算机技术、信息处理技术等的发展和向各领域的渗透,系统监控技术中广泛应用了这些先进的科研成果,使在线监测技术逐步走向实用化阶段。与预防性试验相比,在线监测系统采用更高灵敏度的传感器以采集运行中设备绝缘劣化的信息,信息量的处理和识别也依赖于有丰富软件支持的计算机网络,不仅可以把某些预试项目在线化,而且还可以引进一些新的更真实反映设备运行状态的特征量,从而实现了对设备运行状态的综合诊断,促进电力设备由定期试验向状态检修过渡的进程。

1. 我国电力设备在线监测技术应用

根据 1998 年全国部分省、市电力局、电力试验研究所、科研单位和供电局共 30 个单位提供的 127 个变电站安装的各种在线监测系统或装置的运行情况,归纳总结如下:

(1) 在线监测采用的形式多种多样。有 57 个变电站装有集中型在线监测系统,监测内容主要是电容型设备的介质损耗、电容及其变化量、泄漏电流及其变化量、不平衡电压、避雷器的全电流和阻性电流,或加上变压器套管的介损和油中氢气含量等。有 10 个变电站装有分散型在线监测装置,还有只监测某一参量的仪器,如只监测避雷器泄漏电流的有 39 个站。此外,还有只监测变压器的局部放电或油中色谱、少油开关的泄漏电流及其他设备如发电机放电等参量的。

(2) 提供在线监测系统的单位很多。初步统计,127 个变电站的监测装置共有 35 个单位提供,国内占 30 个单位。以集中型监测系统为例,57 个系统由 13 个单位提供,其中包括科研单位、大专院校、供电局或电力局所属公司等。

(3) 监测系统的正常运行率。

1) 集中型监测系统一次性投入费用较高,因此,人们更加关注其投入运行后的工作情况。57 个系统中,基本运行正常的占 30% 左右,已不能正常使用或处于瘫痪状态的占 36%。使用单位反映的意见主要集中在以下几点:

- a) 介损测量不够准确,稳定性、重复性较差,测量误差较大。
- b) 信号采集部分常发生故障,如传感器失效,破损,电压信号畸变。

c) 测量系统抗干扰性能差, 抗温度、湿度变化的能力差。

d) 数据传输与处理部分常发生故障, 造成数据丢失。

2) 安装分散型监测装置的 10 个变电站, 运行正常的占 90%, 主要用于本系统电站。

3) 有 27 个站只安装了监测避雷器泄漏电流的装置, 基本能正常运行。

(4) 通过在线监测发现故障隐患的事例。由于在线监测结果发生明显变化而发现故障的共 8 例。其中, 避雷器内部受潮 2 例, 放电 1 例, 变压器套管受潮 3 例, 电抗器局部放电 1 例, 主变压器接地不可靠 1 例。

2. 在线监测技术开发和应用情况分析

(1) 已取得的成绩。

1) 在线监测系统应用情况表明, 该系统对及时发现电力设备绝缘缺陷、保证设备安全运行起到了良好作用。十多年来, 已经对各种电气设备的在线监测技术进行了研究和开发, 特别是对电容型设备的 $\tan\delta$ 、 ΔC 、 ΔI 的监测; 避雷器泄漏电流监测技术的开发和应用, 已经取得了很大成绩; 开发了集中型、分散型和便携式装置, 也实时发现了一些被试设备绝缘受潮, 并及时采取措施加以防范, 避免了更大停电事故的发生, 保证了电力系统的安全运行, 取得了一定的社会效益和经济效益。一些监测项目, 如 $\tan\delta$ 的测量和避雷器泄漏电流测量等, 还提出了在线监测的参考标准。

2) 在线监测技术的开发, 推动了电力设备运行维护水平的提高, 减少了维护人员的劳动强度, 对部分设备采用根据监测结果确定停电检修周期的方法, 为从预防性试验向状态检修方向过渡积累了经验。另一方面, 由于引进了先进的电子技术、信息处理技术, 使得在线监测技术更具有先进性、实用性, 推进了电力设备绝缘监督方法的革新。

3) 在线监测技术的开发和应用, 提高了运行管理的智能化程度, 加快了设备运行状态的信息反馈, 缩短了故障判断和处理时间, 提高了工作效率, 减少了因停电造成的经济损失, 并为实现无人值班变电站创造了条件。

(2) 存在的问题。

1) 在线监测工作缺乏统一的管理。目前, 开发和生产在线监测系统的单位很多, 投放市场的产品也很多, 许多产品没有经过严格的检验和考核。近几年的运行情况已经暴露出产品质量问题。一些运行单位缺乏应有的技术力量, 系统安装后缺乏维护, 管理工作没有跟上来, 造成部分系统一投入运行工作就不正常, 在线监测系统作为一种特殊商品, 应如何规范市场, 制定相应的检验条例, 保证产品质量等应提到议事日程上来。

2) 监测系统本身运行可靠性欠佳。对 57 个变电站的集中型在线监测系统运行情况进行调查发现, 属正常或比较正常的只占 29.8%, 而确定不能正常使用的系统约占 35%。问题主要集中在装置本身质量问题, 如: 元件性能不稳定, 失效或破损; 装置的抗干扰性能较差, 抗外界因素如温度、湿度变化的能力差; 装置整体运行可靠性差, 测量数据不稳定, 起不到监测设备绝缘状况的作用等。

3) 一些供货单位对产品质量缺乏应有的监督机制, 售后服务跟不上, 不能及时排除故障, 造成系统瘫痪或不能正常运作。

4) 运行人员缺乏操作、管理水平也是造成装置不能正常运行的原因。如系统电源掉电或插头松脱, 运行人员未能及时恢复, 系统得不到应有的维护, 使得本来很容易解决的问题复杂化。

5) 在线监测系统的功能需进一步完善和提高。经过几年的运行,已经暴露出一些监测系统的设计问题,需要结合在线监测的特点从技术角度综合考虑进一步提高产品的稳定性和准确性,保证传感器自身质量及现场测量中的可靠性,才能得到更好的效果。

3. 对在线监测技术发展的建议

(1) 加强对在线监测工作的协调、管理,使在线监测技术的开发和应用能健康地发展。目前,在线监测技术发展很快,应用面很宽,如何加强产品质量的监督和对产品功能及性能的检验,现场安装、设计的规范化以及制定相应的验收规程、运行管理规程等都是亟待解决的问题。建议有关管理部门进行协调,提供一个综合评估监测系统质量的标准,以便对装置的技术性能、可靠性、先进性以及生产单位的技术力量、技术水平、售后服务等方面进行综合评价。

(2) 进一步提高和完善已开发监测装置的性能。从所暴露的问题看,属于监测系统本身质量问题的主要是测量结果不稳定、系统抗干扰能力差等一些技术难点。应该说,经过十几年的攻关,介质损耗测量和阻性电流测量技术是比较成熟的,已与国外水平较接近。当前应集中力量解决传感元件自身的性能(包括线性度问题和提高信号采集及传递过程中的抗干扰能力),提高测量的稳定性和可靠性。另一方面,还要进一步提高工艺水平,提高产品部件的可靠性。

(3) 在线监测装置的开发应有科研作基础。应充分发挥科研单位、大专院校的科技力量,集中攻关一些技术难题,拓宽监测系统的监测功能,国家电力公司应鼓励和扶持科研创新,以及新技术的开发和研究工作。应对关键设备如电力变压器和气体绝缘组合电器的在线监测技术进行重点攻关。开发电力变压器综合型监测系统,该系统应包含各种能反映故障性质的主要特征参数(如局部放电、色谱、温升等),提高综合分析判断能力。重点加强对局部放电监测系统的抗干扰问题的研究。吸收或引进国外先进的科研成果(如数据处理技术等),加快我们的步伐,达到减少变压器停电事故、减少维护检修工作量、实现状态检测的目的。气体绝缘组合电器的在线监测技术是当前世界各国研究的主要目标,焦点是监测各种有害的放电,应投入科技力量攻关。还可以采用消化引进技术的方法,加快实用化进程。

(4) 加强基础研究工作。研究监测参数及其变化与被测设备绝缘老化的关系,总结出规律性的东西,反过来指导在线监测工作,才能提高在线监测系统的可信度和判断准确性。目前,我国在线监测技术仍停留在只提供监测数据的水平上,而对于这些参量的变化与设备绝缘的劣化程度的关系仍缺乏判断经验,需要进行大量的试验研究和数据统计工作,加强对测量结果的综合分析,进行历史的、相同设备之间的、同一设备历年的测量结果的分析比较、正常的与故障的测量结果的比较,找出测量结果的变化与绝缘劣化两者之间的关系。一些先进国家非常重视理论研究工作,通过在线监测结果与模拟试验比较,提出有参考价值的监测指标,作为判断故障性质的参考。其发展趋势就是用以在线监测为依据的状态监测与维修逐步取代以预防性试验为依据的预测维修。

(5) 加强在线监测系统的智能化水平。在线监测技术有三要素:信息采集,数据处理与分析,处理意见与决策。后两个要素目前还很薄弱,需要加强开发各种可供分析判断的软件。如专家诊断系统的建立,通过调查、归纳、综合、分析工作,提炼出精华,形成专家系统,作为分析判断被测设备故障的依据。另一方面,提高信息传输的准确性,提高监测的智能化水平,实现与电力系统的智能化监控系统联网,实现电力系统管理的综合自动化。