

大型电气设备在线监测 与故障诊断技术



张洪涛 胡志坤 著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

大型电气设备在线监测 与故障诊断技术



张洪强 张洪强 编



中国石化出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

大型电气设备在线监测 与故障诊断技术

张洪涛 胡志坤 著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

大型电气设备在线监测与故障诊断技术/张洪涛,胡志坤著.
—长沙:中南大学出版社,2011.6
ISBN 978-7-5487-0253-5

I. 大... II. ①张... ②胡... III. ①电气设备-故障监测
②电气设备-故障诊断 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 083403 号

大型电气设备在线监测与故障诊断技术

张洪涛 胡志坤 著

-
- ☐责任编辑 陈海波
☐责任印制 文桂武
☐出版发行 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482
☐印 装 长沙市华中印刷厂
-

- ☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 15.75 ☐字数 390 千字
☐版 次 2011 年 6 月第 1 版 ☐2011 年 6 月第 1 次印刷
☐书 号 ISBN 978-7-5487-0253-5
☐定 价 39.00 元
-

图书出现印装问题,请与出版社调换

内 容 简 介

本书是关于大型电气设备的在线监测、故障诊断和运行管理方面的专著。书中总结了多年来从事电力系统在线监测与故障诊断的研究工作，内容涉及电能质量监测，变流器在线监测与故障诊断，以及变压器的非电参数检测、状态评估、故障诊断与运行管理。本书给出电能质量监测所需的电能质量参数计算、数据滤波、数据压缩及无功与谐波电流检测，以及变流器的故障诊断与在线维护，并且重点介绍了变压器非电参数检测，以及建模、预防性维护模型、故障诊断、运行管理等，开发了实际应用系统，进行现场应用。应用成果的介绍，始终坚持理论联系实际，力求将研究成果应用于生产实际，并取得一定的应用成效，相关方法可为其他电力系统和大型电气设备的建模、故障诊断、维护管理提供借鉴和参考。本书可供电力系统自动化的工程技术人员和科研人员阅读，也可作为有关专业本科生和研究生教学参考书。

前 言

电力变压器、变流器是电力系统的核心装置,其安全运行直接关乎电力系统等领域的正常运行及国家专业人员的生命财产安全,也极大地影响电力系统的运行成本。电气设备由绝缘材料、导电、导磁材料及结构材料构成,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,造成设备的渐变性故障。对于变流器来说,大部分都是由半导体材料构成的,也会逐渐老化,造成短路、断路等故障。而且,由于误操作、电网冲击等问题,会导致这些电气设备出现突发性故障。这些渐变性、突发性的故障呈现多样性、复杂性和不确定性等特征,需要非常专业的技术人员进行识别、诊断和维护。变压器的电类参数很容易测量,但与变压器状态相关的往往是非电类参数,如变压器油中含水量、油中气体组分、绝缘参数等。只有在线检测这些非电类参数,并对这些参数进行在线分析,才能获得变压器的运行状态,进而进行故障诊断。由于这些装置都是由非线性元器件构成,建模非常复杂,很难进行有效的状态评估和故障诊断。因此,本书主要采用数据驱动的方法,研究这两类装置的在线监测、故障诊断及运行管理,对保障装置的安全运行、提高装置的使用率和寿命、降低装置运行风险,都具有重要意义。

本书旨在对从事电力系统及设备的状态监测、故障诊断及运行管理的研究工作加以总结,重点阐述了电能质量监测,以及变流器、变压器的在线监测、故障诊断和运行管理的相关技术及其应用。全书共分6章,第1章由河南省电力公司周口供电公司的张洪涛、中南大学的胡志坤执笔,第2章、第4章、第5章由胡志坤执笔,第3章、第6章由张洪涛执笔,由张洪涛、胡志坤统编全书。本书还要重点感谢河南省电力公司周口供电公司的韩爱芝、刘守明、安庆、史宏伟和中南大学的丁家峰、王会海,以及研究生谢嘉祥、王美玲、徐飞、林勇等。

本书的基础研究工作还得到了湖南省自然科学基金“基于海量波形匹配的电力电子变流装置故障诊断方法研究”(10JJ3082)以及深圳市科技计划基础研究项目“基于海量时序数据的变频器装置故障诊断方法研究”(JC200903180555A)等项目的支持。在此,对湖南省自然科学基金委员会和深圳市科技信息委员会表示深深的谢意。

由于水平有限、时间仓促,书中所述难免存在不妥和错误之处,恳请读者和同仁们多多批评指正。

编 者
2010年11月

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 大型设备远程维护研究现状	(2)
1.3 变压器在线检测与故障诊断研究现状	(2)
1.3.1 变压器绝缘参数在线检测	(2)
1.3.2 变压器故障诊断	(4)
1.3.3 变压器状态评估	(10)
1.4 变流器在线维护与故障诊断研究现状	(11)
1.4.1 故障诊断技术简介	(11)
1.4.2 变流器故障诊断	(12)
1.4.3 变流器在线监测	(12)
参考文献	(14)
第2章 电能质量在线监测技术	(21)
2.1 电能质量参数的计算	(21)
2.1.1 电参量计算	(21)
2.1.2 谐波参数计算	(24)
2.1.3 功率参数计算	(29)
2.2 基于数学形态学的滤波器设计	(30)
2.2.1 数学形态学	(30)
2.2.2 基于二抽取的形态学低通滤波器	(31)
2.2.3 形态梯度故障检测	(38)
2.3 基于二维 DCT 的海量时序数据的压缩方法	(39)
2.3.1 离散余弦变换	(40)
2.3.2 数据压缩算法	(41)
2.3.3 数据重构	(44)
2.3.4 算法评估与仿真实例	(44)
2.4 三相不平衡和畸变条件下谐波与无功电流检测	(48)
2.4.1 $i_p - i_q$ 算法分析	(48)
2.4.2 基于电压变换的 $i_p - i_q$ 算法	(50)

2.4.3 数值仿真	(52)
2.5 电能质量分析平台	(56)
2.5.1 硬件设计	(56)
2.5.2 DSP 软件设计	(60)
2.5.3 单片机软件	(61)
2.5.4 硬件系统调试	(64)
2.5.5 电能质量分析软件界面	(67)
参考文献	(71)
第3章 变压器状态在线监测技术	(73)
3.1 概述	(73)
3.2 变压器油中气体在线检测	(75)
3.2.1 概述	(75)
3.2.2 气体在线检测原理	(75)
3.2.3 系统设计	(78)
3.2.4 控制系统设计	(83)
3.2.5 现场实验分析	(87)
3.3 变压器油中微水在线监测系统	(88)
3.3.1 概述	(88)
3.3.2 油中微水的间接测量原理	(88)
3.3.3 油中微水在线测量系统设计	(90)
3.3.4 油中微水在线测量实验	(91)
3.4 变压器容性设备绝缘在线监测系统	(92)
3.4.1 概述	(92)
3.4.2 在线监测原理	(93)
3.4.3 系统设计	(96)
3.4.4 电流传感器设计	(98)
3.4.5 介质损耗因数监测结果分析	(99)
参考文献	(102)
第4章 电力变压器状态维护与故障诊断技术	(104)
4.1 概述	(104)
4.1.1 故障综述	(104)
4.1.2 故障原因	(105)
4.1.3 故障类型	(105)
4.2 电力变压器的建模与故障仿真	(106)
4.2.1 电力变压器的数学模型	(106)
4.2.2 三相变压器内部故障建模	(108)
4.2.3 数值仿真与结果分析	(111)

4.3	预防性维护模型	(113)
4.3.1	可靠性基本概念	(114)
4.3.2	预防性维护模型类别	(116)
4.3.3	策略描述	(117)
4.3.4	模型构建	(118)
4.3.5	算例分析	(119)
4.4	基于 PCA 的变压器故障检查方法	(121)
4.4.1	PCA 统计过程监控模型	(121)
4.4.2	基于重构贡献的故障检测	(123)
4.4.3	仿真分析	(124)
4.5	变压器故障预测的研究	(127)
4.5.1	引言	(127)
4.5.2	基于灰色模型的变压器油中溶解气体浓度预测	(127)
4.5.3	基于 PSO-LSSVM 变压器油中溶解气体浓度预测	(130)
4.5.4	组合预测	(138)
4.6	基于混合知识表示的故障判断专家系统	(139)
4.6.1	专家系统总体结构	(139)
4.6.2	框架式知识表示	(140)
4.6.3	产生式规则的知识表示	(141)
4.6.4	推理机制	(142)
4.7	变压器状态综合评估	(143)
4.7.1	变压器状态量的确定	(144)
4.7.2	变压器状态分析与评分表	(144)
4.7.3	变压器状态评估模型	(145)
4.8	在线监测平台软件	(148)
4.8.1	系统总体设计	(148)
4.8.2	系统功能和数据设计	(149)
4.8.3	系统功能展示	(153)
	参考文献	(161)
第 5 章	电力变流器远程维护技术	(164)
5.1	概述	(164)
5.2	整流电路故障的小波分形法	(165)
5.2.1	小波分形的奇异性检测	(165)
5.2.2	改进的关联维计算及故障检测算法	(166)
5.2.3	故障检测算法与仿真	(167)
5.2.4	整流电路开路故障信号的小波变换	(169)
5.2.5	故障特征的分数维	(171)
5.2.6	小结	(171)

5.3 逆变器故障诊断的小波神经网络法	(171)
5.3.1 逆变器故障编码	(172)
5.3.2 故障信号的提取和故障定位	(173)
5.3.3 算法仿真与分析	(175)
5.3.4 小结	(178)
5.4 电力变流电路状态维护专家知识库设计	(178)
5.4.1 专家知识的规则表示	(179)
5.4.2 装置维护知识库设计	(181)
5.4.3 诊断实例	(182)
5.5 一种基于任意波形匹配的故障诊断方法	(183)
5.5.1 逆变器中 IGBT 的故障描述	(183)
5.5.2 基于 Huffman 树支持向量机的周波故障波形分类	(184)
5.5.3 周波故障波形相似匹配	(189)
5.5.4 一个 IGBT 故障诊断实例	(195)
5.6 电力变流系统远程维护软件系统	(197)
5.6.1 总体设计	(197)
5.6.2 故障录波子系统	(199)
5.6.3 基于 C/S 的现场维护软件	(200)
5.6.4 基于 Web 的远程维护软件	(211)
参考文献	(216)
第 6 章 变电站高压装置维护规程	(218)
6.1 主变压器	(218)
6.1.1 主变压器的巡视检查要求	(218)
6.1.2 #1 主变压器冷却装置正常运行方式及投退操作要求	(219)
6.1.3 #1 主变压器允许过负荷能力及处理要求	(222)
6.1.4 #1 主变压器停送电操作和并解列操作过程的一般要求	(222)
6.1.5 #2 主变压器风冷控制系统功能	(222)
6.1.6 冷却风机、油泵的控制回路	(223)
6.1.7 #2 主变压器总控柜配置	(224)
6.1.8 #2 主变压器分控柜配置	(225)
6.1.9 #2 主变压器冷却系统的运行	(225)
6.1.10 #1 和 #2 主变压器 TCSS 型无载开关操作与运行	(225)
6.1.11 #1 和 #2 主变压器 OV - A22 型突发压力继电器	(225)
6.2 高压开关	(226)
6.2.1 开关及其操作机构配置情况	(227)
6.2.2 开关的巡视检查要求	(227)
6.2.3 开关的运行操作规定	(228)
6.2.4 开关的开断能力	(229)

6.3 高压隔离开关	(230)
6.3.1 隔离开关的巡视检查要求	(230)
6.3.2 隔离开关的正常操作要求	(230)
6.4 电流互感器	(231)
6.4.1 互感器投运前的检查项目	(231)
6.4.2 电流互感器的巡视检查要求	(231)
6.4.3 对电流互感器进行特殊巡视情况	(232)
6.4.4 电流互感器注意事项	(232)
6.5 电压互感器	(232)
6.5.1 电压互感器投运前的检查项目	(232)
6.5.2 电压互感器的巡视检查要求	(232)
6.5.3 电压互感器注意事项	(233)
6.6 阻波器耦合电容器	(233)
6.6.1 阻波器的巡视检查项目	(233)
6.6.2 耦合电容器的巡视检查项目	(233)
6.6.3 耦合电容器的试验项目	(233)
6.7 低压电抗器	(234)
6.7.1 电抗器的验收项目	(234)
6.7.2 低抗的正常巡视项目	(234)
6.7.3 值班员应对低抗进行特殊巡视的情况	(234)
6.7.4 在额定频率时的过励磁运行时间规定	(235)
6.7.5 低抗运行时允许温升及温度	(235)
6.7.6 低抗的操作要求及注意事项	(235)
6.8 电力电容器	(236)
6.8.1 电力电容器投入运行前的检查	(236)
6.8.2 电容器的正常巡视、监视要求	(236)
6.8.3 电容器运行注意事项	(236)
6.9 防雷及接地设备	(237)
6.9.1 概述	(237)
6.9.2 防雷设备及接地装置正常巡视和监视要求	(237)
6.9.3 接地装置的巡视检查项目	(237)
6.9.4 雷击及过电压发生后应检查项目	(237)
6.9.5 避雷器正常检查和维护项目	(238)
6.9.6 避雷针的检查项目	(238)
6.9.7 金属氧化锌避雷器修试校管理	(238)
6.10 母线	(238)
6.10.1 一般规定	(238)
6.10.2 巡视检查项目	(239)
6.10.3 母线检修后的验收	(239)

6.11 电力电缆	(239)
6.11.1 电力电缆的正常巡视检查项目	(239)
6.11.2 装避雷器的电缆还应检查避雷器是否完好	(239)
6.11.3 电力电缆运行注意事项	(240)

第1章 绪论

1.1 研究背景

在发达国家,电能变换占电能总量的70%以上,我国目前仅为30%,并随着经济的发展正在日益增加,电能变换系统正迅速渗透到国民经济的各个领域。简而言之,电气设备主要是完成电能的转换,如变压器实现电压的变换,是电力系统中最核心的装置;电力电子变流系统则可以实现电压、电流的幅值、相位、频率等变换。随着电力电子技术的发展,变流系统正日益渗透到电力系统的各个领域,如各种新能源发电的并网变流器、高压直流输电的变流器、变电站无功和谐波补偿装置等。因此,如何使变压器、变流器这两类电力系统中最核心的装备能够安全、稳定、可靠的运行,直接关乎国家和人民的生命财产安全。现代化大工业的发展使得电力系统中的电气设备日益大型化、自动化、高速化和复杂化,如高电压等级(500kV)三相一体变压器、盐电解所需的大功率整流装置、MW级光伏发电并网变流器、大型变电站的谐波治理与无功补偿装置,这些装置病态运行或者故障停机,往往会引起停产、事故等,损失无法弥补。为了避免这些装置病态运行或故障停机,一般都进行定期检修和维护,变压器的维护成本占站内维护成本的70%,而变流装置的检修、维护费用占成本的30%以上。

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物,如矿物油、绝缘纸、各种有机合成材料等。在运行过程中,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,造成设备的渐变性病态。对于变流器来说,大部分都是由半导体材料构成的,也会逐渐老化,造成短路、断路等故障。而且,由于误操作、电网冲击等问题,会导致这些电气设备出现突发性故障。这些渐变性病态、突发性的故障呈现多样性、复杂性和不确定性等特征,需要非常专业的技术人员进行识别、诊断和维护。变压器的电类参数很容易测量,但与变压器状态相关的往往是非电类参数,如变压器油中含水量、油中气体组分、绝缘参数等。只有在线检测这些非电类参数,并对这些参数进行在线分析,才能获得变压器的运行状态,进而进行故障诊断。为了在发生故障后维护设备其他部件,电气设备往往在设计时进行很多保护电路的设计,大大增加了装置的体积和成本。而且这些保护电路通过加装熔断器,仅仅能对线路的电流、电压进行越限保护,并不能诊断出真正的故障。

因此,本书以大型的电力变压器、变流器为研究对象,研究了电气设备的状态评价、预防性维护、故障检测的几个关键技术,该研究对保障大型电气设备的安全运行、提高装置的使用率和寿命、降低大型电气设备运行风险都具有重要意义。

1.2 大型设备远程维护研究现状

1988 年开放式远程医疗系统的概念在美国被提出,该系统的功能包括远程诊断、专家会诊、信息服务、在线检测和远程学习等几个主要的部分。电气设备的远程监测与维护开始于 20 世纪 90 年代初,美国南部电力公司、Inland 钢铁公司等开始研制自己的网络监测与诊断系统。特别是在 1997 年 1 月,由麻省理工学院和斯坦福大学联合主办的“基于 Internet 的工业设备远程诊断讨论会”,将设备的远程故障诊断提高到新的高度,制定了故障诊断开放体系、诊断信息规程、传输协议以及对用户的合法限制,并对未来的发展作了展望。

在电力系统的电气设备维护领域,王邵伯等综合了微机控制技术、通讯技术与电工技术,成功设计了柴油机发电机组的远程监控系统,并采用分布式人工智能的方法提高远程监测系统的可靠性^[1];李江林设计了一套电厂电气设备故障诊断专家系统,解决某电厂电气设备的状态监测与故障专家诊断^[2];蒋东翔等采用模糊数学、模糊模式识别、模糊人工智能和基于规则的专家系统等混合智能诊断方法,应用于大型汽轮发电机组和电力热力系统的设备的故障诊断^[3];杨莉等建立客户端/服务器模式的电力系统管理及故障诊断专家系统,解决了电力系统的分散控制与集中管理^[4];侯朝祯等采用分布式多计算机系统,解决多机分布式火控设备的状态监测、专家诊断^[5];刘浩等利用分布式微机监控系统,应用于多级热网分布式微机监控系统传感器的故障诊断^[6];牛玉广等建立了分布式汽轮发电机组在线检测与故障诊断系统,应用于天津第一热电厂的汽轮发电机组进行在线状态监测与故障诊断^[7];轩建平采用隔离测量器 IMP,应用于火电厂分布式网络化状态监测与故障诊断^[8];郭莉鸿等提出了智能嵌入系统的电力网运行管理专家系统^[9];Jiang Dongxiang 等将分布式人工智能,应用于大型电厂电气的设备状态监测与故障专家诊断^[10];Yang Hong - Tzer 等采用分布式神经网络确定树的方法,解决电力系统分布式在线监测与故障诊断^[11];Zhou M 等利用分布式模糊推理方法,应用于分布式电力系统的故障诊断^[12];Hastings 等利用综合智能分布式策略解决巴西电力系统的状态监测、故障诊断与预防性维护^[13]。这些系统都是针对不同的对象、满足不同的目的建立的,它包含的技术包括对设备或系统的评价、系统的监视和预警、故障诊断等技术。从广义角度讲,故障是一种区别正常的运行状态,所以故障诊断是远程维护的关键技术。

1.3 变压器在线检测与故障诊断研究现状

1.3.1 变压器绝缘参数在线检测

在 20 世纪 70 年代,克兹(Kurz)在实验室研制成用高分子塑料薄膜渗透脱出油中气体,以气相色谱仪进行测定的装置,并将这种装置安装在变压器上,可对溶解气体的五种组分进行自动分析。1974 年,加拿大 Syprotec 公司推出 Hydran. 201 R 型在线变压器早期故障监测装置,其后该公司又推出了法拉第变压器看护单元(FaradayTM Transformer Nursing UnitTM, TNU), Hydran. 201 i 智能型在线式变压器早期故障监测装置,尽管它是国际上开发较早,并在各国(包括中国)应用最广的在线监测装置,而且检出了一些故障设备,但它检测组分有

限,还不是人们所期待的真正意义上的油中溶解气体分析(Dissolved Gasses Analysis,简称DGA)在线监测装置^[14]。

加拿大、日本等国普遍开展了在线监测变压器油中溶解气体的研究,先后推出了多种装置^[15, 16],成熟的在线DGA监测仪不断投入使用,对充油变压器故障气体的在线监测提供了各种解决方案^[17]。此外,国外较为典型的还有美国Serveron公司的TrueGas气体在线监测仪。加拿大Syprotec公司早在20世纪70年代就研制了Hydran在线氢气检测仪,在全世界已安装了8500套Hydran系列产品,是应用最广泛的监测系统,声称已成功避免了约100次变压器灾难性事故。加拿大佳创公司推出的 H_2 、CO、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_2H_2 六组分在线监测仪,也是采用渗透膜技术对油气进行分离,以电化学传感器进行检测。法国Micro Monitor公司的TGA型在线监测仪可以监测 H_2 、CO、 C_2H_4 、 C_2H_2 等气体,该仪器采用极小的半导体传感器装入一个坚固的探棒内,可直接插入变压器油中。日本日立、三菱公司研制了能在线监测 H_2 、CO、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_2H_2 六种气体的装置,但其检测周期长达7~10 d,精度为 $(15 \sim 20) \times 10^{-6}$ 。此外,近些年,国外很多公司,如AOC, MicroMonitors, Unisensor GmbH, Energie - Versorgung, Schwaben AG, Raychem, ABB Power Transformers公司等,纷纷研制了在线监测多种气体的系统,但这些系统大多尚未商业化,而且运行时间尚短,其可靠性有待进一步检验。另外,这些装置都倾向于同时使用两种检测器(红外光谱和半导体传感器),目的是检测更多种类的气体并获得较高的精度,但这样必然加大装置结构的复杂性。1984年我国吉林省电研所等7个单位以栅长效管为气敏元件和以聚酰胺膜为渗透膜研制出BGY 1型和BGY 2型变压器在线故障检测器,这是一种油中氢气在线监测装置,该装置主要由气室和监测报警器组成,经现场试验考验,该装置的检测器经长期运行时稳定性较差,寿命短,维护工作量大,但是,这些研究成果为近30多年来国内持续研究变压器油中溶解气体在线监测课题提出了有益的经验。东北电力科学研究院的大型变压器色谱监测装置1994年投入运行,主要针对500 kV以上大型变压器,装置安装在恒温防火箱内,与变压器连成一体,定量自动采取20 mL变压器油样,经全脱气装置实现油气分离,在线色谱装置可以分析 CH_4 、 C_2H_6 、 H_2H_4 、 C_2H_2 等气体。

目前,国内油中溶解气体在线监测技术日臻成熟,已有不少商品化的仪器在现场应用。国内主要的厂家有中能电力科技开发有限公司(进口产品代理的代表)、重庆海吉科技有限公司(高校企业的代表)、宁波理工监测设备有限公司(国内厂家的代表)。另外,还有依托武高所的武汉华电国电科技发展有限公司和广州智光电气与国电龙源电力集团公司合资的上海龙源智光电气有限公司、河南中分仪器(以油色谱及配套仪器为主)、湖北今人(以断路器检测为主)、湖南帕美特(以容性设备检测为主)等等。国内产品较为典型的有北京理工大学Tran-B系列变压器故障监测仪以及东北电力科学研究院的大型变压器色谱监测装置。对红外检测技术而言,在已经投入运行的装置中,基本上都采用了单一气敏传感器的检测技术。国内单测氢气的在线检测仪都用薄膜来进行油气分离。国内的大型设备油色谱在线检测装置,实际上采用的是真空自动脱气的常规色谱仪原理,优点是检测周期短(仅1小时),精度高(可检测的气体最小含量为 0.5×10^{-6}),缺点是检测气体种类偏少(只能检测 H_2 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_2H_2 四种气体),结构复杂,安装维护困难,成本高。国内还有一种专测乙炔的便携式检测仪,用循环气泵对油样全脱气,再以比色测定法检测 C_2H_2 的含量。上述监测仪,均使用特殊方法将气体从油中分离,使用网络把现场数据自动地、实时地传输到监测中心集中处

理,而对气体的检测方法以及可以达到的检测指标,则各有千秋。

(1)一般来说,整个监测系统可归纳为以下三个子系统

①被监测设备和传感器(一般安装在设备现场)。

②信号预处理和数据采集子系统(一般安装在被监测设备附近,也在现场)。

③信号处理和诊断系统是一台微型计算机和监测系统专用软件,位置在距离现场约数十至数百米的主控室内。

(2)不论监测系统是什么类型,它均应包括以下基本单元。

①信号的变送。一般由相应的传感器来完成,它从电气设备上监测出反映设备状态的物理量,例如电流、电压、温度、压力、气体成分等,并将其转换为合适的电信号传送到后续单元。它对监测信号起着观测和读数的作用。

②信号的处理。其功能是对传感器变送来的信号进行适当的预处理,将信号幅度调整到合适的电平;对混叠的干扰采用滤波器、极性鉴别器等硬件电路进行抑制,以提高系统的信噪比。

③数据采集。对经过预处理的信号进行采集、A/D 转换和记录。

④信号的传输。将采集到的信号传输到后续单元。对固定式检测系统,因数据处理单元远离现场,故需配置专门的信号传输单元;对便携式监测装置,只需对信号进行适当变换和隔离。

⑤数据处理。对所采集的数据进行处理和分析,获取反映设备状态的特征值,为诊断提供有效的信息和数据。

⑥诊断。对处理后的数据和历史数据、判断及其他信息进行比较、分析后,对设备的状态或故障部位做出诊断。必要时采取进一步措施,例如安排维修计划、是否需要退出运行等。

图 1-1 为详细的变电站在线监测系统组成框图:

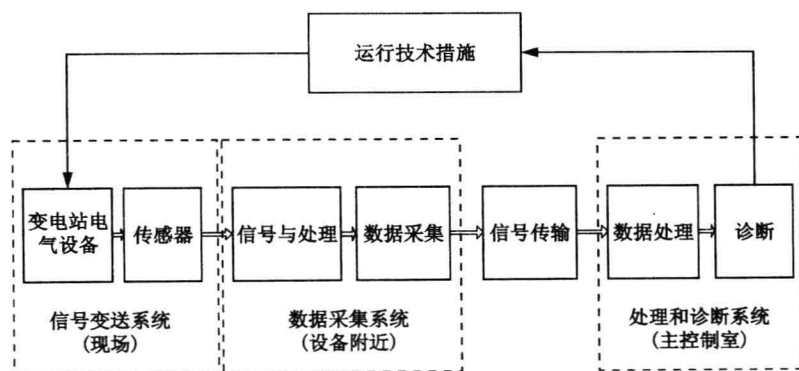


图 1-1 变电站在线监测系统组成框图

1.3.2 变压器故障诊断

1. 概述

电力变压器故障诊断技术主要包括故障诊断、故障预测和状态评估三方面内容。故障诊

断是根据故障特征,对已发生故障的电力变压器进行分析,确定电力变压器的故障类型和故障部位;故障预测是根据现有的数据预测电力变压器运行状态的发展趋势,判断可能发生故障的时间、部位和严重程度;状态评估是利用电力变压器的特征参数对电力变压器的运行状态及其他信息进行记录、分类和评价,制定出相应的分级策略,为设备维修提供参考。

电力变压器故障诊断所用的数据具有小样本、贫信息的特点,包含的信息量较少,如何对此类信息进行处理和综合分析是电力变压器故障诊断技术需要重点解决的问题。目前,在电力变压器故障诊断技术中,对变压器故障诊断的研究相对比较成熟,成果较多,而对变压器状态评估和故障预测的研究相对较少。

电力变压器故障诊断就是根据电力变压器故障的征兆,确定故障的性质、部位和严重程度。由于电力变压器故障的复杂性,其诊断过程不可能只采用单一方法,而要综合多种方法。因此,必须从各学科中广泛探求有利于故障诊断的原理、方法和手段,这就使得故障诊断技术呈现多学科交叉的特点。

变压器的故障诊断技术方法包括 DGA、介质损耗检测、绕组热点温度测量、绕组变比测量等传统方法,以及局部放电、恢复电压、绕组变形测量、傅里叶变换红外和近红外光谱法等非传统方法。其中,油中溶解气体分析法是诊断电力变压器内部故障最主要的技术手段,所以《电力设备预防性试验规程》把油中溶解气体分析法列在首位^[18]。

大型电力变压器主要采用油纸绝缘结构,在正常老化过程及故障初期,油纸绝缘劣化所形成的低分子烃、氢气以及碳的氧化物等气态化合物绝大部分将溶解于油中。变压器油中溶解的各种气体成分的相对数量和形成速度主要取决于故障点能量的释放形式及故障的严重程度,所以根据色谱分析结果可以进一步判断设备内部是否存在异常,推断故障类型及故障能量等。Halstead 在 1973 年发表的报告中,对油中分解的碳氢气态化合物的产生过程进行了热动力学理论分析,认为对应于不同温度下的平衡压力,一种碳氢气体相对于另一种碳氢气体的比例取决于热点的温度^[19]。因此建立了如下假设:特定碳氢气体的析出速率随温度而变化,每种气体在不同的温度下达到其最大析出速率,在特定温度下各类气体的相对析出速率是固定的。根据这一假设,随着温度升高,析出速率达到最大值的次序依次为: H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 和 C_2H_2 。Halstead 假说是应用油中溶解气体比值法诊断设备故障类型并估计热点温度的理论基础。根据这一假设,随温度的变化,故障点产生的各气体组分间的相对比例是不同的。Rogers 由此选择 5 种特征气体的 4 个相对比例 CH_4/H_2 、 C_2H_6/CH_4 、 C_2H_4/C_2H_6 和 C_2H_2/C_2H_4 来进行故障诊断^[20]。由于 C_2H_6/CH_4 只能反映油纸分解的极有限的温度范围,所以在后来的 IEC 标准中将此比值删去,修改后的三比值法被普遍认为是最为简明的解释^[21],此后,IEC 三比值法一直是利用 DGA 结果对充油电力设备进行故障诊断的最基本的方法。

长期的实践和大量实例及分析表明,三比值法存在以下不足^[22]:

(1) 三比值法推荐的编码组合由典型事故统计分析获得,由于电力变压器内部故障非常复杂,在实际应用中常常出现缺编码的情形,使判断无法进行。

(2) 只有油中气体各组分含量足够高或超过注意值,并且经综合分析确定电力变压器内部存在故障后,才能用三比值法判断其故障性质。而对油中各气体组分含量正常的电力变压器,其比值没有意义。如果不论电力变压器是否存在故障,一律使用三比值法,就有可能对正常的电力变压器造成错误的判断。