

BIANDIANSHEBEI ZAIXIANJIAN
YU GUZHANGZHENDUAN

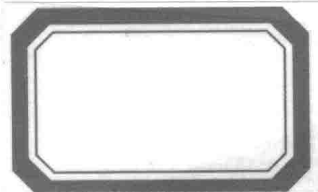
变电设备在线监测 与故障诊断 (第二版)

黄新波 等编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

BIANDIANSHEBEI ZAIXIANJIANCE
YU GUZHANGZHENDUAN



变电设备在线监测 与故障诊断 (第二版)

黄新波 等编著

本书全面分析了变电设备在线监测技术的原理、实现方法和应用效果，提出了不同在线监测技术的具体应用效果，便于读者了解在线监测技术和保障。



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

变电设备在线监测与故障诊断是指直接安装在变电设备上可实时记录表征设备运行状态特征量的测量、传输和诊断系统,是实现变电设备状态监测、状态检修的重要手段。

本书全面介绍了变电设备在线监测技术和方法,主要包括绪论、变电设备在线监测基础、变电设备在线监测原理、变电设备故障诊断算法、变电设备在线监测抗干扰技术、变压器在线监测、电容型设备绝缘在线监测、金属氧化物避雷器在线监测、绝缘子在线监测、高压开关设备在线监测、电力电缆在线监测、GIS在线监测、智能变电站在线监测以及智能电网与智能变电站相关知识。

本书可作为高等学校电气工程、检测技术与仪器、自动化等专业本科生和研究生的专业基础课程教材,也可作为电力行业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

变电设备在线监测与故障诊断/黄新波等编著. —2版. —北京:中国电力出版社,2012.11

ISBN 978-7-5123-3667-4

I. ①变… II. ①黄… III. ①变电所-电气设备-在线监测系统-故障监测②变电所-电气设备-在线监测系统-故障诊断
IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第252465号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年10月第一版

2013年1月第二版 2013年1月北京第二次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 24.5印张 598千字

印数3001—6000册 定价55.00元



敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

序

变电设备在线监测与故障诊断(第二版)

目前,我国在电网智能化规划编制、技术标准体系研究和标准制定方面取得了大量的研究成果,并在发电、输电、变电、配电、用电、调度等环节进行了试点工程建设。变电站的智能化运行是实现智能电网的重要基础环节,其除了信息采集、测量、控制、保护和监测等常规功能外,还需在线监测站内设备的运行状态,完成电网实时控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能。变电设备在线监测与故障诊断技术已成为智能变电站建设的核心内容。

基于传感器、数据分析与处理、数据通信及故障诊断策略等技术的发展,变电设备在线监测技术得到了较快发展,已从早期的容性设备监测发展到变压器、套管、GIS、高压断路器、电力电缆等重要设备的在线监测与诊断,乃至集成的在线监测与诊断系统。

本书作者在国内较早开展了变电设备在线监测技术的研究,研发的变电站绝缘子污秽在线监测系统、电容型设备绝缘在线监测系统、MOA在线监测系统、GIS局部放电在线监测系统以及高压开关柜状态监测系统等在电力系统得到应用,在传感器设计、信号处理以及故障诊断等方面取得了一定成果,研究了在线监测与诊断技术的一些关键技术和共性问题,对于解决在线监测技术的标准化、稳定性与可靠性、状态分析与故障诊断等相关问题非常有益。

本书较全面分析了变压器等变电设备局部放电在线监测技术的工作原理、实现方法和应用效果,阐述关键技术点和急需解决问题,提出不同在线监测技术的具体实现方法,搜集整理大量的现场运行数据和运行效果,便于读者了解和掌握变电设备在线监测技术,对于推广变电设备在线监测技术和保障智能变电站安全运行很有意义。

中国工程院院士

2010年8月

前言

变电设备在线监测与故障诊断(第二版)

随着 2009 年和 2010 年国家智能电网试点工程的建设,智能电网技术特别是智能变电站技术得到了迅速发展,其中变电设备在线监测技术对于促进智能变电站建设发挥了重要作用。作者在 2010 年出版了著作《变电设备在线监测与故障诊断》,但随着智能变电站建设,尤其是国家电网公司陆续出台了《智能变电站技术导则》等技术标准,关于变电设备在线监测技术的系统结构等内容发生了重要变化。

本次修订是在前期版本的基础上,修改了第 2 章变电设备在线监测基础的内容,增加了 IED 技术和 IEC 61850 协议的相关内容;增加了新的第 13 章智能变电站在线监测中心;将原有第 13 章和第 14 章内容合并修改为新的第 14 章智能电网与智能变电站;最后补充了有关智能变电站的国内外标准等。书中内容重点强调变电设备在线监测技术的相关内容,有关智能变电站的整体技术介绍可参考作者近期出版的著作《智能变电站原理与应用》。本次修订由黄新波教授主持,同时感谢王宏、王霄宽、贺霞、唐书霞和王卓等的大力支持。

感谢本书新引用文献的作者,感谢为本书新内容提供技术资料的个人和单位。智能变电站在线监测技术发展迅速,受作者学识水平所限,书中疏漏欠妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者

2012 年 5 月于西安

第一版前言

变电设备在线监测与故障诊断(第二版)

变电设备在线监测与故障诊断是当前电力行业最具活力的技术领域之一,是指直接安装在变电设备上可实时记录表征设备运行状态特征量的测量、传输和诊断系统,是实现变电设备状态监测、状态检修的重要手段。2009年随着智能电网的建设,变电设备在线监测技术得到迅速发展。

作者在国内较早开展输变电设备在线监测技术的研究,研发了输电线路覆冰雪预警系统等在线监测技术,并出版了专著《输电线路在线监测与故障诊断》和译著《电网的大气覆冰》;研发了系列变电设备在线监测技术,包括变压器局部放电在线监测、变电站绝缘子泄漏电流在线监测、电容型变电设备在线监测、MOA在线监测、GIS局部放电在线监测以及高压开关柜状态监测等技术,均在电力系统成功应用。这些研究成果分别获得陕西省科学技术一、二等奖和三等奖等科技奖励10余项。

国内其他研究人员已经在绝缘机理和诊断方法方面进行了大量的研究和总结,并出版了多部有关电气设备在线监测方面的著作,但针对在线监测技术的实现方法和实例分析等研究内容的书籍较少。作者与西安金源电气有限公司合作研发的在线监测技术在电力部门得到广泛应用,作者在充分学习总结国内其他研究人员和用户单位的科研成果和运行经验的基础上,撰写了本书,希望能够反映当前变电设备在线监测与故障诊断理论和技术的实际应用及最新成果。

本书是推行和实施智能电网建设的应用型参考书,书中较全面地分析了各种主流变电设备在线监测技术的原理、实现和应用,探索了一些关键实现技术和共性问题,并重点给出一些在线监测系统的具体设计与应用实例,使读者能够初步了解和掌握变电设备在线监测技术,从而更好地为智能电网建设服务。

本书由黄新波教授主要编写，参加编写工作的还有程荣贵副教授、蔡伟高工、宋栓军高工、景军锋讲师和李俊峰高工，他们主要来自西安工程大学、解放军西安通信学院、华南理工大学、西安金源电气有限公司、河南送变电建设公司等单位，在此表示衷心感谢。同时还要感谢欧阳丽莎、陶保震、朱永灿、冯玲、黄彪、李国倡、李小博、郭见雷、王勇、舒佳、贺霞、李文静、赵隆、王霄宽、张晓霞和王宏等硕士研究生在本书编写的过程中给予的大量帮助。

感谢所有本书引用文献的作者，感谢为本书撰写提供技术资料的个人和单位，特别感谢中国电力企业联合会，其定期召开的输变电设备状态监测研讨会为该书提供了大量素材。

该书的出版得到中国博士后基金（20090460759）、陕西省重大科技创新项目（CX0746）、国家重点基础研究发展计划（973计划）子课题（2009CB724507-3）、2010年陕西省教育厅产业化中试项目等课题的资助，以及西安金源电气有限公司、河南送变电建设公司和山西省忻州供电分公司等单位的大力支持。在此，表示衷心感谢！

变电设备在线监测与故障诊断是一个迅速发展的高新技术领域，书中疏漏欠妥之处在所难免，恳请读者批评指正。主编黄新波的电子邮箱：hxb1998@163.com，欢迎共同探讨。

作 者

2010年7月于西安

目录

变电设备在线监测与故障诊断(第二版)

序
前言
第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 变电设备在线监测原理	2
1.2 变电设备在线监测技术	3
1.3 变电设备故障诊断系统	4
1.4 变电设备在线监测急需解决的问题	6
第 2 章 变电设备在线监测基础	10
2.1 变电设备在线监测系统的构成	10
2.2 传感器	13
2.3 基于微处理器的数据采集	25
2.4 信号传输	33
2.5 IED 技术	38
2.6 IEC 61850 标准	43
第 3 章 变电设备在线监测原理	51
3.1 局部放电	51
3.2 油中溶解气体分析	62
3.3 介质损耗因数监测	75
3.4 泄漏电流	86
第 4 章 变电设备故障诊断算法	95
4.1 基于专家系统的故障诊断算法	95
4.2 基于人工神经网络的故障诊断算法	98
4.3 基于支持向量机的故障诊断算法	102

4.4	基于故障树的故障诊断算法	108
4.5	基于人工免疫算法的故障诊断算法	113
4.6	基于粗糙集理论的故障诊断算法	121
4.7	其他相关算法	129
第5章	变电设备在线监测抗干扰技术	132
5.1	电磁兼容与电磁干扰	132
5.2	硬件抗干扰设计	134
5.3	软件抗干扰技术	142
5.4	在线监测数据预处理	152
5.5	电磁兼容试验	154
第6章	变压器在线监测	159
6.1	变压器局部放电在线监测	160
6.2	变压器油中溶解气体在线监测	169
6.3	变压器绕组变形的监测与诊断	181
6.4	变压器分接开关在线监测	193
第7章	电容型设备绝缘在线监测	207
7.1	电容型设备绝缘在线监测现状	207
7.2	电容型设备绝缘在线监测系统的设计	207
7.3	运行实例分析	220
7.4	电容型设备绝缘状况故障诊断	222
第8章	金属氧化物避雷器在线监测	230
8.1	金属氧化物避雷器运行故障的主要机理	230
8.2	MOA 在线监测方法	231
8.3	变电站 MOA 在线监测系统的设计	239
8.4	运行实例分析	241
8.5	MOA 故障诊断	243
第9章	绝缘子在线监测	250
9.1	缺陷绝缘子检测方法	250
9.2	绝缘子的污秽闪络问题	257
9.3	系统设计与实例分析	273

第 10 章 高压开关设备在线监测	276
10.1 高压开关柜局部放电在线监测	276
10.2 开关柜触头温升在线监测	281
10.3 断路器机械特性在线监测	291
10.4 SF ₆ 气体在线监测	293
10.5 真空灭弧室真空度在线监测	299
第 11 章 电力电缆在线监测	305
11.1 电力电缆故障分析	305
11.2 电力电缆绝缘在线监测方法	306
11.3 局部放电在线监测系统的设计及应用	317
11.4 电力电缆故障点定位	320
第 12 章 GIS 在线监测	325
12.1 GIS 气体在线监测	325
12.2 GIS 局部放电在线监测	326
12.3 GIS 局部放电在线监测系统的设计	330
12.4 断路器机械故障在线监测	333
第 13 章 智能变电站在线监测中心	335
13.1 智能变电站在线监测中心组成	335
13.2 系统特点	335
13.3 智能变电站在线监测实例	336
第 14 章 智能电网与智能变电站	355
14.1 智能电网	355
14.2 智能变电站	360
附录 A 国内智能变电站技术规范与标准	368
附录 B IEC 61850 标准	368
参考文献	369

电力系统是一个由众多发、送、输、配、用电设备连接而成的大系统，这些设备的可靠性及运行状况直接决定整个系统的稳定和安全，也决定着供电质量和供电可靠性，随着电力系统向高电压、大容量、互联网发展，以及用电部门要求的提高，对电力系统的安全可靠性指标的要求也越来越高。检修是保证电力设备健康运行的必要手段，它关系着设备的利用率、事故率、使用寿命、人力物力财力的消耗，以及电力企业的整体效益等诸多问题。早在 20 世纪 50 年代初，我国在发电厂和供电部门推行“计划检修”，即按照预防性试验规程所规定的试验周期到期必修，大多需要停电进行，而试验电压又远远低于试品的运行电压。例如：110kV 变压器运行电压为 63.5kV，一般测试绝缘电阻的试验仪器电压为 5kV，只为运行电压的 7.8%；测试介质损耗时最高试验电压一般为 10kV，只为运行电压的 15.7%，且无法分析环境温度、湿度、周围的电磁场干扰、设备老化等因素对试验数据的影响，因此不能完全准确反映变电设备运行的真实状况。近年来，“状态检修”已引起电力部门及国内外研究者的普遍关注，它是在变电设备在线监测技术的基础上，对设备状态进行实时获取和分析，根据设备状态和分析诊断结果安排检修时间。美国电力科学研究院诊断检修中心的统计表明，实施状态检修提高设备利用率在 5% 以上，节约检修费用 25%~30%。2006 年，国家电网公司积极推进状态检修技术研究和应用工作，初步建立了状态检修规章制度和技术标准体系；2008 年，国家电网公司颁布了《输变电设备状态检修试验规程》等七项公司技术标准，标志着输变电设备周期定检向状态检修过渡的开始；2009 年，国家电网公司提出建设智能电网，全面开展状态检修工作。

变电设备在线监测技术经过二十多年的探索实践和发展，国内外已形成相对成熟应用于输变电设备的带电检测技术，如变压器、GIS、断路器设备局部放电，油色谱分析，红外测温，避雷器泄漏电流监测，电容性设备电容量及介质损耗带电测试等。美国针对油中溶解气体分析、超声波探测、局部放电检测、红外测温等对试验数据运用模糊逻辑进行处理，通过分析判断对问题缺陷提出处理建议。日本 20 世纪 80 年代开始进入以状态监测为基础的预知维修时代，积累了大量数据与经验，逐步形成一些标准和较成熟的方法，如变压器寿命诊断上用温度特性、局部放电、纸的抗拉度、聚合度、CO+CO₂ 等来预测剩余寿命。国内研发的红外线成像技术、油色谱分析、局部放电、绕组变形、污秽泄漏电流等在线监测技术逐渐应用到主要的变电设备中，数字信号处理技术、人工神经网络、专家系统、模糊集理论等也逐步应用到变电设备故障诊断中，成为电力系统中的一个重要研究领域。

智能电网是建立在集成、高速双向通信网络的基础上，通过对先进的传感和测量技术、

设备技术、控制方法及决策支持系统技术的应用,实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标。智能变电站是智能电网的基础,而变电设备在线监测与故障诊断技术是智能变电站的重要组成部分和智能电网建设的决定性因素。

1.1 变电设备在线监测原理

1.1.1 局部放电监测及三维定位

电气设备的局部放电对电气设备的绝缘会产生不同程度的影响,严重情况下导致绝缘介质击穿、设备故障,局部放电量水平的明显增加,局部放电的在线监测是发现潜在绝缘故障的有效手段。电气设备内部发生的每一次放电均会产生机械脉冲,脉冲透过油及内部变压器结构传播。这些机械脉冲可以借助安装在变压器缸壁的压电转换器转换为电压信号而被监测。三维定位系统通过环绕变压器缸壁外的多组感应器,可测量局部放电信号的抵达时差,从而确定局部放电的来源。变电设备局部放电检测方法有脉冲电流法、DGA法、超声波法、RIV法、光测法、射频检测法和化学方法等。声—电联合、声—光联合等综合检测技术成为局部放电监测的主流方向。

1.1.2 在线油中溶解气体监测

油中溶解气体分析是诊断充油设备潜伏性故障的有效方法,其原理为变压器等出现异常或故障时,内部的绝缘油在热和电的作用下逐渐分解出氢气(H_2)、一氧化碳(CO)、甲烷(CH_4)、乙烷(C_2H_6)、乙烯(C_2H_4)、乙炔(C_2H_2)等气体,通过分析气体的类别、浓度及变化趋势,判断变压器可能存在的潜在故障。油气相色谱分析的过程是从油样中取出混合气体,再将混合气体分离为要求的气体成分,通过各种气敏传感器将各种气体的含量转换为电信号,经A/D转换后将信息上传。在变压器油气相色谱分析过程中,从油中取出气体是一个重要环节,英国中央发电局(CEGB)认为产生测量误差的原因多半是在脱气阶段,IEC标准要求油中脱气效率应达到97%以上。分析方法一般分为三组分法和全组分法两种。三组分法使用渗透膜进行油气分离,气敏元件做传感器,一般适合于早期预警;全组分法适合于早期预警以及故障发展趋势的连续检测,适合于色谱发现异常需要跟踪的测试。

1.1.3 介质损耗和泄漏电流监测

运行中电力设备的绝缘状态对电力系统的安全运行至关重要,常规绝缘参数主要包括运行电压下流过设备的电流、电流型电力设备的电容量及其变化和电力设备的介质损耗。近年来,对变电设备常规绝缘特征参数的在线监测技术多集中在介质损耗和泄漏电流在线监测研究。介质损耗在线监测的原理方法主要有三种:①硬件直接测量相位角,主要有过零点相位比较法、电压比较器法等;②采用软件方法,对监测信号A/D变换后,采用数字算法得到介质损耗值,主要是谐波分析法等;③测量相对介质损耗,通过测量统一线路不同设备的泄漏电流,以其中某一设备作为基准得到相对介质损耗值。泄漏电流监测方法主要包含全电流和阻性电流法等,阻性电流主要反映设备内绝缘问题。

1.1.4 SF_6 监测

SF_6 因为其高效的绝缘性能在电力系统得到了广泛应用,高压断路器、互感器、GIS、PASS MO都广泛采用 SF_6 作为灭弧和绝缘气体。 SF_6 维持设备的绝缘水平和保证优良的灭弧能力,若设备发生泄漏引起 SF_6 气体密度降低,设备的电气性能会大大下降,如开关设备的耐压强度降低,或断路器的开断容量下降。当环境温度变化时,在泄漏部位会出现“呼

吸”现象，环境中的水分会进入设备内使 SF₆ 气体的湿度增大而影响电气性能甚至引发安全事故。例如，曾报道过由于 SF₆ 气体湿度过高而引起高压互感器爆炸事件。目前 SF₆ 气体的在线监测的主要项目有气体密度、气体泄漏、气体微水含量等。

1.1.5 红外线测温监测

红外线测温监测为非破坏性测试，可在设备带电时动态监测电气设备的热故障点，为设备状态检修提供技术依据。无论是电流致热型、电压致热型或其他致热效应的设备，只要表面发出的红外辐射不受阻挡的输变电设备都属于红外诊断的有效监测范围，如输电线路、变压器、断路器、隔离开关、互感器、电力电容器、电抗器、避雷器和电力电缆等。

1.2 变电设备在线监测技术

2005 年底对国家电网公司所属单位的调研表明，国家电网公司系统大约有超过 4000 套的在线监测系统，分布在 954 个变电站中。在变压器本体、电容型设备、避雷器、开关类设备、GIS 和综合性监测六类在线监测系统中，避雷器在线监测系统最多，超过 2000 套，电容型设备在线监测系统次之，约为 1371 套，变压器本体在线监测系统约为 742 套。变电设备在线监测系统的应用已呈现一定规模，有效地反映了设备的运行状态。随着国家智能电网的建设，变电设备在线监测技术将得到更广泛的应用。目前主流的监测方法如下：

(1) 变压器类的在线监测。变压器类主要为充油的电力变压器或电抗器，监测特征量有油中溶解气体、局部放电、绕组变形、铁芯接地电流、油中微水、高压套管的介质损耗因数和电容量等。此外，通过频率响应分析法进行变压器绕组移位及变形测试，通过瞬变振动信号获取有载分接开关工作状态，通过吸附在变压器箱壁上的振动传感器来获得系统的振动信号来判断铁芯及绕组工作状态，通过含水量、酸度及电介质强度进行绝缘油质量评估。

(2) 电容型设备的电容量/介质损耗因数监测。电容型设备包括电流互感器、电容式电压互感器、电容器等，主要的监测特征量有介质损耗、泄漏电流、等值电容（有些也可监测局部放电）等。

(3) 避雷器在线监测。氧化锌避雷器的主要监测量有：阻性电流值和总泄漏电流值。总泄漏电流值的大小能反映氧化锌避雷器的绝缘状况，而其阻性电流值的大小是表征绝缘性能优劣的更敏感指标。

(4) 绝缘子在线监测。绝缘子的主要监测量有等值附盐密度、污秽表面电导率、泄漏电流和闪络场强等，其中泄漏电流是由瞬时实际爬电比距、天气和污秽程度决定的动态指标，包含了绝缘子运行状态的足够信息。

(5) 高压开关设备在线监测。高压开关设备包括开关柜、断路器、隔离开关、接地开关、重合器、分断器、负荷开关、接触器、熔断器，以及上述元件组合而成的负荷开关—熔断器组合电器、接触器—熔断器（F-C）组合电器、隔离负荷开关、熔断器式开关、敞开式组合电器。主要特征量有：触头温升，绝缘气体（SF₆ 断路器）、开断电流波形、合分闸线圈电流，操动机构的行程、速度和机械振动等。

(6) 电力电缆在线监测。高压电缆的绝缘在线监测主要采用局部放电监测的方式，局部放电监测可采用超声波技术。此外，还有直流成分法、直流叠加法、介质损耗因素法、低频叠加法、交流叠加法、温度法、接地线电流法等。当电缆故障发生后，可采用声波法、音频

法等寻找电缆的确切故障点。

(7) GIS在线监测。目前, GIS在线监测方法集中在断路器动作监测、绝缘状态的监测、局部放电监测和故障定位等方面。

(8) 综合在线监测诊断系统。在应用上可引进有效的不同技术方法, 当在线油中溶解气体监测系统或年度 DGA 监测系统初步探明变压器有潜在的故障时, 可安排流动的故障诊断系统来进行密切监测。这个综合诊断系统包括在线综合 DGA、热点探测、油的含水量测量、局部放电探测、系统电流及电压以及其他有效的潜在故障探测及定位感应器, 系统采集数据后发送至监控中心, 专家诊断系统将自动产生分析结果、解释可疑的早期潜在故障, 以及建议补救行动计划。

1.3 变电设备故障诊断系统

早期国内变电站的状态检修系统(即故障诊断系统)处于分散监测与诊断阶段, 一个系统对应一种设备, 各个系统相互独立, 且与计算机监控系统没有任何信息交互, 形成了一个个信息孤岛。电力部门通过科研开发, 实现了各分散系统的集成及其与计算机监控系统的融合, 使状态检修的信息来源更加丰富, 给设备检修决策提供了非常有利的条件, 也为智能变电站建设打下了坚实基础。下面介绍国内电力领域所做的一些探索工作。浙江绍兴电力局进行了变电设备状态检修辅助分析系统的研究, 已实现了根据设备不同状态量数据, 利用规则匹配、神经网络等分析手段进行数据判别, 同时考虑设备绝缘性能、导电性能、机械性能的隶属度及状态量的重要程度(权重), 经系统加权平均后产生最终的判别结果, 分析框图如图 1-1 所示。

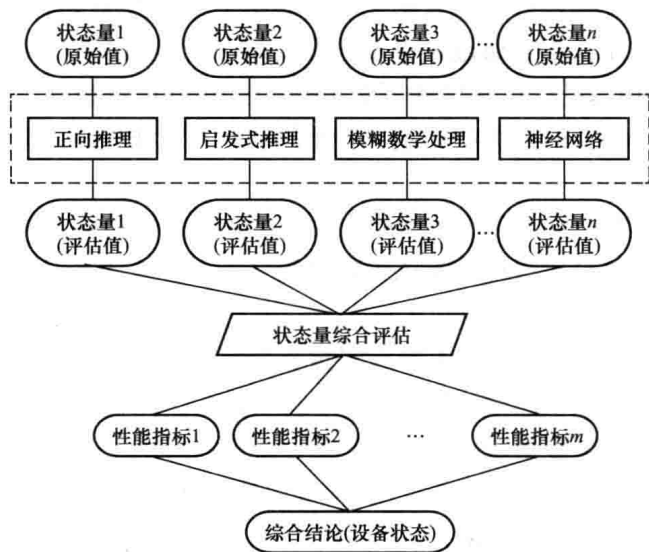


图 1-1 设备状态诊断分析框图

福建省电力试验研究院则研发了状态检修辅助决策系统平台, 其由系统接口、核心构架、内核技术、核心功能、灵活展现和辅助工具六大部分组成, 见图 1-2。系统接口规范了与外系统的对接方式; 核心构架定义了一种分布式、事件驱动的分层构架, 并定义了适合于各类电力设备状态检修数据管理需要的通用数据模型; 内核技术提供了灵活解析数据处理

配置、导则配置的能力；核心功能是支持状态检修业务所需要的核心技术模块；灵活展现按照定义生成各类表单、图表、报告、报表等用户界面；辅助工具提供了对各种灵活配置项目进行可视化建模的人机界面。

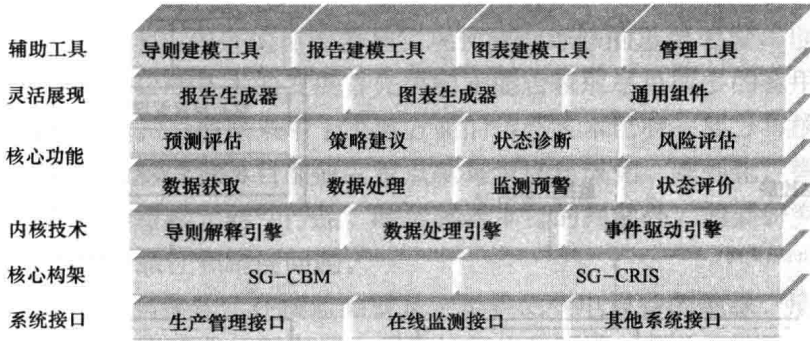


图 1-2 福建省电力试验研究院状态检修辅助决策系统平台

华北电网状态检修辅助决策系统以数字化电网生产管理系统的设备层次和编码体系为基础，同时参考《国家电网公司信息分类与代码体系》中的相关标准整合分散的数据资源，包括生产管理系统、线路地理信息系统（GIS）、污区管理系统、智能巡检系统、在线监测系统、带电巡检信息。通过构建可扩展的输变电状态检修规则库，利用辅助决策系统对设备的健康状态进行综合分析和评价，并逐步实现设备的预测评估等高级应用。系统总体结构如图 1-3 所示。

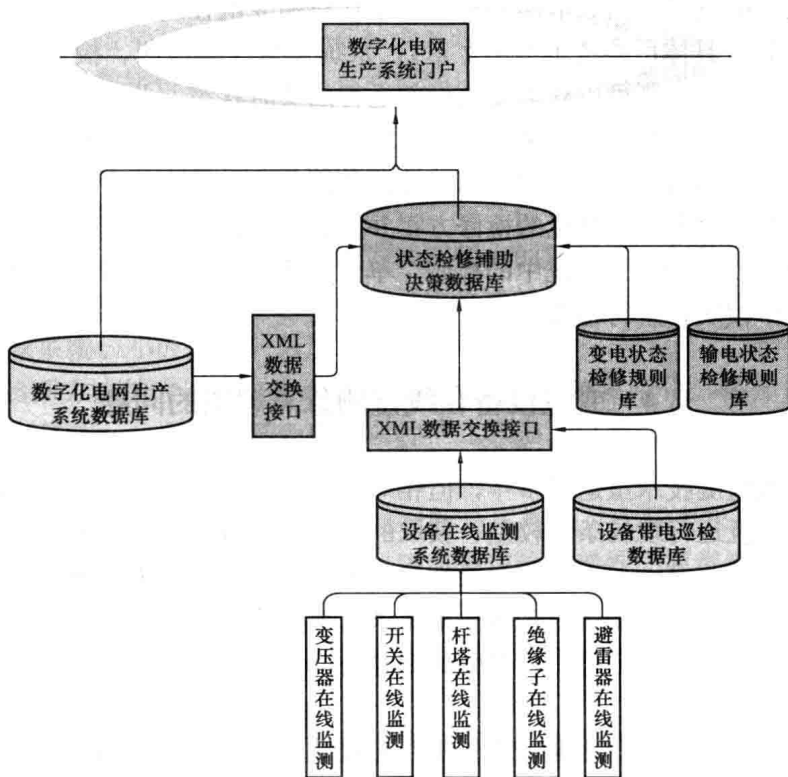


图 1-3 华北电网状态检修辅助决策系统总体结构

华东电网公司较早地进行了数字化变电站状态检修系统的研究,包括通信系统、在线监测系统、状态信号分析系统、状态诊断专家系统、状态检修管理系统,具体框架详见图 1-4。

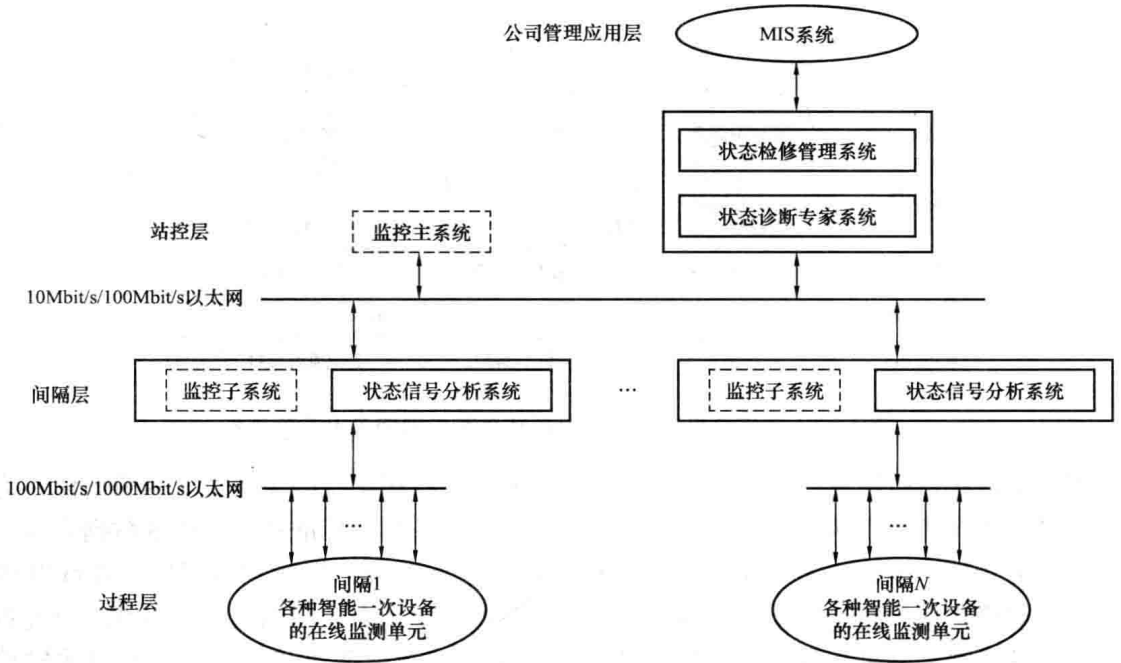


图 1-4 华东电网公司的数字化变电站状态检修系统框图

随着智能电网的发展,国家电网公司目前正在将输变电在线监测技术融入电力系统的生产管理系统(PMS,具体可参考本书第 2 章),系统包括在线监测、检修计划决策和管理应用三个部分。通过在线监测可以获得变电设备运行的实时状态,并通过各种专家诊断算法给出设备运行状态;检修计划决策即利用上述系统给出的设备状态,运用多信息融合技术综合考虑设备历史数据、运行状况、检修工期、检修费用、检修风险等多方面因素,进行技术分析、经济比较,最后给出一个最优的检修方案并且具有分部审批与人为添加方案的功能;管理应用部分是与 PMS 或 ERP 系统中的检修工单建立联系,一旦检修方案审批下来,可以直接联系到检修工单模块,进行检修。

1.4 变电设备在线监测急需解决的问题

变电设备在线监测技术虽运行多年,但相对于传统的离线方法及仪器而言,它毕竟还没那么成熟和完善,且运行现场条件较差、获取的传感信号微弱、电磁干扰和稳定性设计不足以及相关诊断标准缺乏等,导致系统运行性亟待提高。为此,国家电网公司正在组织力量,力争及早制订出对在线监测设备的基本技术要求、考核检验方法、订货条件等文件,相应科研机构对厂家产品进行试运行对比,考验其测量精度和运行稳定性,努力提高在线监测的实施效果。急需解决以下问题:

(1) 标准规约有待统一。目前开发和生产在线监测装置的厂家较多,产品种类也较多,但大多数产品在技术标准、接口规约上存在各自为政、不尽统一的情况。近年来运行状况表明,产品质量暴露出问题,特别是系统安装后缺乏足够的技术力量维护,造成部分系统运行

分析相对滞后、信息上传不畅通。CIGRE、IEE、IEEE 等已成立小组展开工作,包括系统设计、产品选择、运行导则、投资计算等。国家电网公司颁布了 Q/GDW 168—2008《输变电设备状态检修试验规程》等七项公司技术标准,其他相关标准也在积极起草中,对变电设备的技术发展起到重要的作用。

(2) 先进的传感技术。先进的传感器是实现预测性维修的重要手段,也是一个长盛不衰的研究热点。因为故障诊断技术的发展首先决定于能否获取尽可能多的有用信息,这是数据处理和诊断决策的基础。一些原来用于军事方面的传感技术已有一部分移植到电气设备的状态监测上来,如光纤传感器等。目前研究重点就是发展集成化、阵列化、智能化的传感器和电压敏、热敏及气敏等敏感元器件产品。除传感器本身的问题外,需要研究的还包括传感器在监测领域中应用的可靠性和精度问题。

(3) 科学的在线监测参数。在线监测就是定量检测变电设备的绝缘、应力、征兆和强度等性能参数,掌握其运行状态,判定产生故障的部位和原因。因此,获取诊断信息方法的确定和测量参数选择的正确与否就成为故障诊断工作成败的关键。经过多年的输变电设备运行维护,尤其是预防性试验积累的经验,输变电设备的状态参数已得到了较多的了解,但如何获取反映设备运行状态的参数需进一步研究。

(4) 信息采集处理技术。由于在线监测所选用的传感器一般是非侵入式的,不影响被监测设备的正常运行,所监测的特征信号,既有状态变量,也有二次效率信息(如分解物等),因此可能有很多反应设备状态的信号,如局部放电过程中会产生电脉冲、气体生成物、超声波、电磁辐射、光、局部过热、产生微量金属元素等现象。相应的就可监测电脉冲、气相色谱、超声波、电磁波、光、红外光、金属原子含量等信息,当然相应的传感器和处理技术差异很大。同时,由于信号在传送过程中往往受其他信号的干扰,因此传感器所测量的数据究竟采用模拟传输还是数字传输,是采用有线传输还是无线传输等问题都应深入研究。

(5) 数字信号分析与处理技术的应用。电气设备中干扰信号是多种多样的,按频带可分为窄带干扰和宽带干扰,而按其时域波形特征可分为连续的周期型干扰、脉冲型干扰和白噪声干扰三类。这些都影响对设备诊断的准确性,数字信号处理在电气设备在线监测中的地位尤为重要。过去用频谱来区分故障类型的方法有很大的局限性,许多不同类型的故障信号频谱往往有一部分甚至大部分是重叠的,在频域内很难加以区分。现在常用的方法有模糊识别神经网络、专家系统、小波分析、分形维修分析等。

(6) 故障诊断方法的改进。电力系统的结构和设备愈加复杂化、多样化,故障征兆与原理之间关系模糊复杂,一个故障可表现出多种征兆,多个故障起因也可能同时反映出一个故障征兆,如何准确地进行故障诊断需要新技术、新方法的介入。对于复杂的设备如变压器、大型开关柜等,故障关系较为复杂,简单的判断是不能满足实际要求的,需要大量的规则、知识,甚至还伴随着许多模糊关系。因此,需要采用将精确性向模糊性逼近的模糊集的数学方法来处理这些模糊现象。状态监测为计算机智能技术在故障诊断中的应用提供了可能,专家系统与人工神经网络系统通过监测系统的数据分析与处理,将知识、经验规则模型化,综合各类信息快速准确地诊断出故障。

(7) 电磁兼容设计。在高电压、大电流的强电场环境中,以微电子线路为主体的微处理器、计算机及网络等监测装置常受到强电磁辐射、雷电冲击、高频噪声和谐波干扰等,引起系统可靠性降低,轻则产生误动作,重则系统“死机”。为解决抗干扰问题,研究者和制造