

随着电力系统朝着高电压、大容量方向发展,电力设备的安全运行显得更为重要。一旦发生停电事故,将给生产和生活带来巨大的影响和经济损失。因此,迫切需要对电力设备运行状态进行实时或定时在线监测,及时反映设备的劣化程度,以便采取预防措施,避免停电事故发生。

高压电气设备绝缘在线监测是指在电气设备处于运行状态中,利用其正常信号和异常信号,包括电压、电流、局部放电量、介质损耗值、泄漏电流以及设备电容值等多种信号来监测设备绝缘状况。基于现代传感器技术、智能信息处理技术、计算机技术和通信技术等,所监测到的信号特征参数能够真实地反映电气设备绝缘运行工况,从而对绝缘状况作出及时准确的判断。目前,高压电气设备绝缘在线监测通常采用的有:绝缘油在线色谱分析、交流泄漏电流、介质损耗角正切、局部放电量及放电位置、设备电容值和绝缘子动态污秽等在线监测。

### 3.1 系统组成及分类

#### 3.1.1 系统的组成

在线监测系统从广义上说包含硬件和软件两部分。所以,一般在线监测系统应包含信号传感、信号预处理、数据采集、信号传输、数据处理、分析与诊断等基本单元(如图 3-1 所示)。

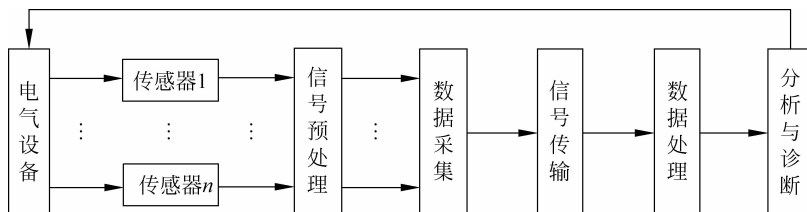


图 3-1 在线监测系统组成框图

##### 1. 信号传感

在线监测系统要对被监测对象进行监测,首先要获取被监测对象的状态信号,通常需要相应的传感器来完成该任务。传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将检测感受到的信息,按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出。其主要是从电气

设备上检测出那些能反映设备状态的物理量,如电流、电压、温度、压力、气体成分等,是实现在线监测的首要环节,对监测信号起着观测和读数的作用,直接影响着监测技术的发展。

## 2. 信号预处理

因被监测对象环境往往比较复杂,存在严重的干扰信号,以至于经传感器后的信号很微弱或很强,无法满足后续单元对信号的要求,这就需要对其进行预处理。预处理电路把传感器输出的信号幅值进行放大或衰减至合适的幅值。另外,对混叠的干扰信号进行滤波等电路抑制,以提高系统的信噪比,满足测量系统对信号的要求。

## 3. 数据采集

为了获取数字信号,需对经过预处理的信号进行数据采集,即利用一定采集装置对其进行信号转换。该步骤通常最常用的就是 A/D 转换装置,并对采集的数据进行锁存记录。

## 4. 信号传输

信号传输的目的是将采集到的数据传送到后续处理单元。在监测系统中,对于处理中心远离监测现场,则需配置专门的信号传输单元;而对于便携式监测系统,仅需对信号进行适当的隔离和变换。

## 5. 数据处理

对所获取的各种原始数据进行分析、整理、计算、编辑等的加工和处理。在监测系统中,往往所获取的数据在未加工处理的情况下是无法体现信号的特征的,常常需要对信号进行相应的时域或频域等变换,并利用软件滤波和数字信号处理等技术,对信号作进一步的处理,以提高信噪比,从而获取能够反映信号的特征值,为进一步诊断提供有效的数据和信息。

## 6. 分析与诊断

监测系统处理中心将对前面单元提供的数据和信息进行进一步分析,例如,与历史数据、判断依据或其他信息进行比较分析;接着运用相应的算法或阈值等对设备状态或故障类型及部位作出诊断。有时,将提供进一步反馈计划,比如电气设备停运、进一步检测、维修等建议结论。

在线监测系统并不是所有的系统都包含上述几种单元,有时是某几个单元集合在一起。在专业领域,有时把在线系统分为三个子系统,其中电气设备和传感器为现场信号变送子系统,信号预处理、数据采集和信号传输为数据采集子系统,而数据处理和分析与诊断为处理和诊断子系统。

### 3.1.2 系统的分类

#### 1. 按监测作用分类

电力设备在线监测按其监测的作用分为保护性监测和维护性监测两类,其中,运行人员将保护性监测数据作为工作重点,而检修人员则将维护性监测数据作为工作重点。

##### 1) 保护性监测

保护性监测即设备故障监测,通过对常规运行参数(如电流、电压、功率、温度、流量、压力等)的监测,得出电力设备正常运行工况的数据。同时还在故障敏感的部件设置一些专用监测器,通过对反应异常的特征量的监测,帮助运行人员及时了解这些部件的状态,在故障发生之前报警,以便采取必要的措施,避免严重故障的发生。

## 2) 维护性监测

维护性监测是通过在线监测,发现缺陷和监视缺陷的发展趋势并预测发展的后果,以指导维护策略。维护性监测需要在设备运行时完成一系列的周期性或连续性试验,当发现有异常现象时,进行异常原因分析和适当维护,以消除异常现象的根源。目前,电力设备维护性监测就是从定期的停电检修逐步过渡到根据其状态进行的预测性维修。

### 2. 按监测对象分类

#### 1) 变压器在线监测系统

变压器是电力系统中最重要和最昂贵的电力设备之一,随着电网电压等级的提高和输电容量的增加,变压器故障将对电网的安全稳定运行产生严重的影响。长期以来,电力系统内对变压器正常运行维护主要是采用事后维修和预防维修两种方式。但是,预防性维修需要停电检修,影响了供电的可靠性;定期检修中更换的设备一部分是没有必要更换的,降低了经济性。因此,常规的检测方法与现代状态维护发展趋势不相适应,为了保证电力系统供电可靠性和经济性,电力设备的在线监测和故障诊断就应运而生。

电力变压器的在线监测方法主要分为两种形式:集中式监测和分布式监测。集中式监测可对所有被测设备定时或者巡回自动监测;分布式监测是利用专门的测试仪器测取信号就地测量。

变压器在线监测系统按其各种机械和电气特性采取相应的监测技术,又可分为局部放电在线监测系统、油中溶解气体在线监测系统、铁心接地电流在线监测系统、绕组变形在线监测系统和振动在线监测系统等。

##### (1) 变压器局部放电在线监测系统。

因为变压器局部放电过程中产生的电脉冲、电磁辐射、超声波、光等现象,相应出现了超声波检测法、光测法、电脉冲检测法、射频检测法和 UHF 超高频检测法。

##### ① 超声检测法。

该方法是以固定在变压器油箱壁上的超声传感器接收变压器内部局部放电产生的超声波来检测局部放电的大小和位置。通常采用的超声传感器为压电传感器,为避开铁心的磁噪声和变压器的机械振动噪声,选用的频率范围为 70~150kHz。超声检测法主要用于定性判断是否有局部放电信号,结合电脉冲信号或直接利用超声信号对局部放电源进行物理定位。

##### ② 光测法。

光测法是利用局部放电产生的光辐射进行检测。在变压器油中,各种放电发出的光波长不同,光电转换后,通过检测光电流的特征可以实现局部放电的识别。目前,利用局部放电的紫外信号量进行检测已得到了深入研究和应用。此外,光纤技术作为超声技术的辅助手段应用于局部放电检测。该技术将光纤伸入变压器油中,当变压器内部发生局部放电时,超声波在油中传播,这种机械力波挤压光纤,引起光纤变形,导致光纤折射率和光纤长度发生变化,从而光波被调制,通过适当的解调器即可测量出超声波,实现放电定位。

##### ③ 电脉冲法。

电脉冲法又称脉冲电流法,通过检测阻抗、变压器套管末屏接地线、外壳接地线、铁心接地线及绕组中由于局部放电引起的脉冲电流,获得局部放电量。该方法在检测技术上比较方便,可以直接利用电流传感器在变压器相关部位获取局部放电脉冲电流。但是该技术最大的不足在于容易把其他电干扰信号直接引入,有时甚至掩盖掉局部放电脉冲电流信号。

为了有效地识别和抑制干扰,将真正的局部放电信号提取出来,近年来,研究学者引入诸多信号分析方法,包括小波理论、神经网络、指纹分析、模糊诊断等方法,使得基于电脉冲法的局部放电在线监测装置的性能有了长足的进步,如德国 AVO、LEMEC 及澳大利亚虹项等局部放电在线装置,检测最小局部放电量达 100pC,国内装置由于数字滤波技术不是很完善,检测最小局部放电量为 3000pC。

#### ④ 射频检测法。

该方法利用罗哥夫斯基线圈从电气设备的中性点处测取信号,测量的信号频率可达 30MHz,提高了局部放电的测量频率。该测试系统安装方便,检测设备不改变电力系统运行方式。但对于三相变压器而言,该测试系统得到的信号是三相局部放电量的总和,无法进行分辨,信号容易受外界干扰。随着数字滤波技术的发展,该方法在局部放电在线监测中已有较广泛的应用,尤其是在发电机在线监测领域。

#### ⑤ 超高频检测法。

针对传统检测方法的不足,近几年出现了一种新的检测方法——超高频检测方法。超高频局部放电检测通过超高频信号天线检测变压器内部局部放电产生的超高频(300~3000MHz)电信号,实现局部放电的检测和定位,UHF法和脉冲电流法不同,脉冲电流法的频率测量范围一般不超过 1MHz,UHF法的频率范围为 300~3000MHz。

### (2) 变压器油中溶解气体在线监测系统。

油中溶解气体分析是目前判断油浸式电力变压器早期潜伏性故障最方便、最有效的方法之一,实际应用最为广泛,已成为判断充油电气设备内部故障和监视设备安全运行不可缺少的手段。因变压器不同的故障引起油分解所产生的气体组分也不尽相同,从而可通过分析油中气体组分的含量来判断变压器的内部故障或潜伏性故障。变压器油中溶解气体在线监测的关键技术包括油气分离技术、混合气体检测技术。目前,应用比较成熟的在线监测系统通常是利用气相色谱法检测绝缘油中各种溶解气体的含量,从而进一步判断变压器内部故障。

### (3) 变压器绕组变形在线监测系统。

变压器绕组变形是指在机械力或电动力的作用下,绕组的尺寸或形状发生了不可逆转的变化,如轴向和径向尺寸的变化、器身位移、绕组扭曲鼓包、匝间短路等。变压器绕组发生变形后,有的会立即发生损坏事故,但更多的是仍能继续运行。由于变压器绕组变形存在累积效应,如果不及时发现和修复变形,就埋藏了事故隐患,遇到过电压等情况,就可能引发较大的事故。

对于已经发生绕组变形的变压器,用目前的常规试验方法如频响分析法、短路阻抗法等可以发现问题,其主要方法是在现场采取吊罩检查的方法,通过施加低压脉冲并比较响应变化的低压脉冲法,测量变压器短路电抗并与历史数据比较的短路电抗法,测量变压器频率响应并比较其变化的频响分析法。这些方法需要变压器退出运行,即离线检测,不能在线监测变压器绕组状况以便及时发现故障。

基于变压器短路阻抗及阻抗中的电感分量与绕组几何尺寸及相对位置有关,近年来,通过在线检测变压器短路电抗变化来分析绕组状况的技术逐渐得到重视。低压脉冲法和频响分析法都需在变压器绕组的一端施加与运行电压相异的激励信号,实施相对复杂,并且脉冲法重复性较差。短路电抗法在线监测过程中无须额外施加激励量,因而很受重视。

最近又有人提出了一种通过在线测量变压器三相电压和电流量,采用递推最小二乘法

辨识变压器的短路电抗和电阻的方法来进行变压器绕组在线监测。

#### (4) 变压器铁芯接地在线监测系统。

变压器铁芯接地在线监测系统主要有三种,即监测变压器绝缘油特征气体的色谱分析法,基于铁心局部发热的红外法和直接监测铁心接地电流的电气法。

油色谱分析法运用最为广泛,技术上也非常成熟,但投资较大,并且只有在变压器油中特征气体达到警示值时才能进行判断,在故障不是很严重时无法及时发现问题,存在滞后性,并且当特征气体的比值不是标准值时,很难准确地判断故障的类型。

红外法作为一种新型方法一般只适用于干式变压器,对于油浸式变压器,红外线很难穿透其外壳和绝缘层,运用起来有一定的局限性。

电气法是通过监测铁心接地线上的电流变化来反映铁心运行状况,是各种方法中最迅速、最直接、最灵敏的方式。

#### (5) 变压器振动在线监测系统。

电力变压器油箱表面的振动与使其振动的变压器绕组及铁心的压紧状况、位移及变形状态密切相关,故在线测量油箱表面振动可反映有载调压开关、绕组和铁心的机械性缺陷,也可对内部局放进行检测和定位。目前,美国、俄罗斯和加拿大等几个国家正在研究利用振动信号分析法在线监测变压器,且俄罗斯已进入现场试用,结果证实该法适于各类变压器,准确率高达 80%~90%。其不足在于:未充分研究绕组振动特性,如测试位置对振动信号测量的影响及不同压紧状况下绕组振动信号的特征等。

振动监测常采用压电式加速度传感器,安装在变压器铁壳外,频率从几赫兹到 20kHz,最高 80kHz。通常加速度传感器的灵敏度在  $10^1 \sim 10^2 \text{ mV}/(\text{m}/\text{s}^2)$  数量级。

#### 2) 高压断路器在线监测系统

GIS 和高压 SF<sub>6</sub> 断路器设备在线监测诊断有效的项目是局部放电监测。局部放电监测可以弥补交流耐压试验的不足,通过在线监测发现 GIS 和 SF<sub>6</sub> 断路器制造和安装的清静度,发现设备制造和安装过程中的缺陷、差错和进水受潮等(如安装、维修时内部留有微小遗留物;电极表面有毛刺、刮伤、尖端物等损伤;支撑绝缘子内部有气泡或受潮劣化;导电或接地部分接触不良),并确定放电位置,从而进行有针对性的维修,确保设备安全运行。

此外,SF<sub>6</sub> 断路器的绝缘气体在线监测是满足电力安全生产的另一重要监测系统。在高压电弧的作用下或高温时,部分 SF<sub>6</sub> 气体会分解成含有剧毒物;泄漏出来的 SF<sub>6</sub> 气体及其分解物会往室内低层空间积聚,造成局部缺氧和带毒。这些都将对电力检测人员的生命造成危害。

#### 3) 隔离开关和开关柜在线监测系统

根据高压开关柜的不同故障类型,在线监测的内容也不同,可以分为机械特性在线监测、电气性能在线监测、温度在线监测和绝缘性能在线监测等。其中,机械特性在线监测的内容包括合、分闸线圈回路,合、分闸线圈电流、电压,断路器动触头行程,断路器触头速度,合闸弹簧状态,断路器动作过程中的机械振动,断路器操作次数统计等。

#### 4) 容性设备在线监测系统

在线监测电流互感器、CVT、耦合电容器、套管等容性设备介质损耗角正切值是一项灵敏度很高的试验项目,它可以发现设备绝缘整体受潮、绝缘劣化以及局部缺陷等。通过全国互感器类容性设备缺陷故障统计分析,绝缘受潮缺陷占总缺陷的 80%以上。互感器类容性设备一旦绝缘受潮会引起绝缘介质损耗增加,损耗越大,温度上升越快,越易造成绝缘劣化,

导致绝缘击穿。因此,容性设备在线监测主要是监测介损,方法主要分为硬件法和软件法。其中,硬件法又可分为电桥法、三相不平衡法和过零检测法;软件法分为绝对法和相对法。

#### 5) 电力电缆在线监测系统

电力电缆作为电力系统输电的重要设备,其安全运行对于电力系统至关重要。目前,对电力电缆在线监测研究和应用比较多的是绝缘电阻、介质损耗、局部放电、直流成分这4个方面。其中,电力电缆绝缘在线监测又可分为直流法、工频法、低频法3大类。

#### 6) 发电机在线监测系统

##### (1) 局部放电在线监测。

定子绕组故障几乎是发电机故障率最高的部位。定子绕组故障包括绝缘故障、绕组导体故障和绕组端部故障。由于大多数定子绕组故障是电气绝缘逐渐劣化的结果,绝缘故障便成了主要关注对象。定子绕组绝缘故障的主要早期特征便是机器内局部放电行为的增加,因此,对局部放电的监测成为实施定子绕组状态监测的主要工具。

##### (2) 振动和气隙磁密在线监测。

因在转子旋转时由于自身重力的作用,转子材料表面的裂缝将扩散,这将引起灾难性的转子故障。在负序电流作用下,转子涡流损耗会造成过热并导致疲劳裂纹的出现。如果发电机和系统之间满足谐振条件,突然的暂态过程中可能导致转子扭振,从而引起转子故障。转子不同心会引起振动,并出现不平衡的磁拉力。对转子体故障的早期检测可通过振动监测和气隙磁密监测来实现。

此外,转子绕组匝间短路可能由于发电机在低速启动或停车时,槽中导体表面的污物引起了电弧,或者是巨大的离心力和高温影响了绕组和绕组绝缘。匝间短路故障可引起局部过热甚至导致转子接地。通用的监测方法是采用气隙磁密监测,通过探测气隙磁密,可以确定匝间短路的数量和位置。

##### (3) 热成像在线监测。

发电机长期运行会使铁心深处过热,引发定子铁心故障。因此,热成像监测技术(包括热成像技术、热模型等)成为定子铁心在线监测的主要技术。

#### 7) 氧化锌避雷器在线监测系统

金属氧化物避雷器(MOA)由于阀片老化或受潮所表现出来的电气特征是阻性电流增大,因此测量运行电压下的交流泄漏电流是金属氧化物避雷器在线监测的主要内容,而测量其阻性电流是关键。目前国内测量全泄漏电流多采用避雷器在线监测器,即将一体的毫安表与计数器串联在避雷器接地回路中。监测器中的毫安表用于监测运行电压下通过避雷器的泄漏电流峰值,有效地监测避雷器内部是否受潮或内部元件是否异常。避雷器在线监测在电力系统中的应用比较成熟且应用效果较好,通过在线监测可及时有效发现避雷器的绝缘劣化缺陷。

## 3.2 变电站在线监测系统

目前,变电站在线监测系统实现了信息共享平台化、系统框架网络化、设备状态可视化、监测目标全景化、全站信息数字化、通信协议标准化、监测功能构件化、信息展现一体化,实时采集站内设备的状态数据,进行综合的诊断分析和全寿命评估。一方面,变电站在线监测系统内部是一个相对独立的内部互联配变设备网络;另一方面又是远方主站的一个节点,

向主站发送变电站内部设备的监测诊断系统和自身状态信息。

变电站在线监测系统采用 IEC 61850 通信标准。IEC 61850 以完整的分层通信体系,采用面向对象的方法,使构建真正意义上的智能化变电站监测系统成为可能。具体来说,智能变电站在线监测系统包括几个部分:①电气设备,变压器等;②在线设备;③集中的在线监测主机。变电站在线监测系统的结构在逻辑结构上可分为三个层次,这三个层次分别称为“过程层”、“间隔层”、“站控层”,如图 3-2 所示。其中,过程层是一次设备和二次设备的结合面,其主要功能是进行输变电设备的特征参数的检测、状态参数的在线检测与统计、操作控制的执行等任务;间隔层的主要功能是进行本间隔过程层实时数据信息的汇总、数据处理、对一次设备实施保护控制功能,具有承上启下的作用;站控层主要任务是汇总全站的实时数据信息,对全站的运行状况进行质量评估,将有关数据信息送往调度或控制中心并接受调度或控制中心有关控制命令,向间隔层、过程层发送控制命令等。

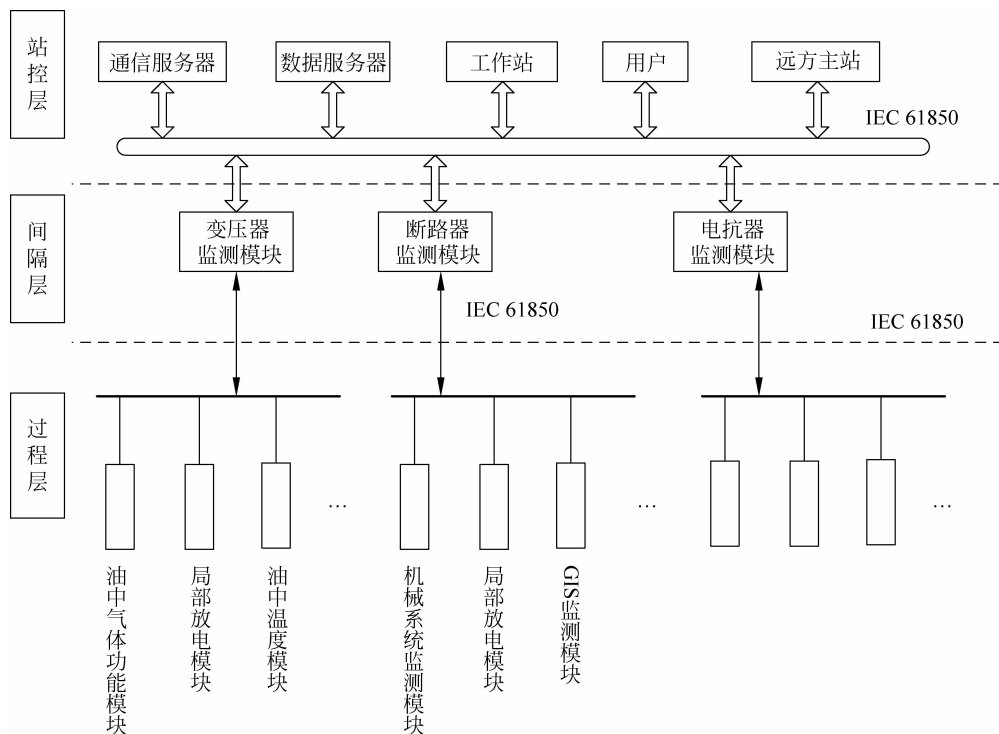


图 3-2 变电站在线监测总体架构图

### 3.2.1 变电站主要设备的在线监测

#### 1. 变压器智能监测模块

电力变压器是变电站最主要的设备,所以对其的监测是变电站监测系统最为关键的一环。此模块对变压器进行全面监测及质量评估。

通过对反映变压器实时状况的状态参数(油中溶解气体、局部放电、套管介质损耗及电容量、铁心接地电流、油中微水、油中温度等)进行实时监测,对变压器的绝缘状况作出分析、诊断和预测。针对各种特定状态参数采用专用智能传感器模块,围绕变压器的状态参数监

测系统硬件框图如图 3-3 所示。图 3-3 中部分传感器模块也将应用于其他输变电设备,视具体监测体系而定。

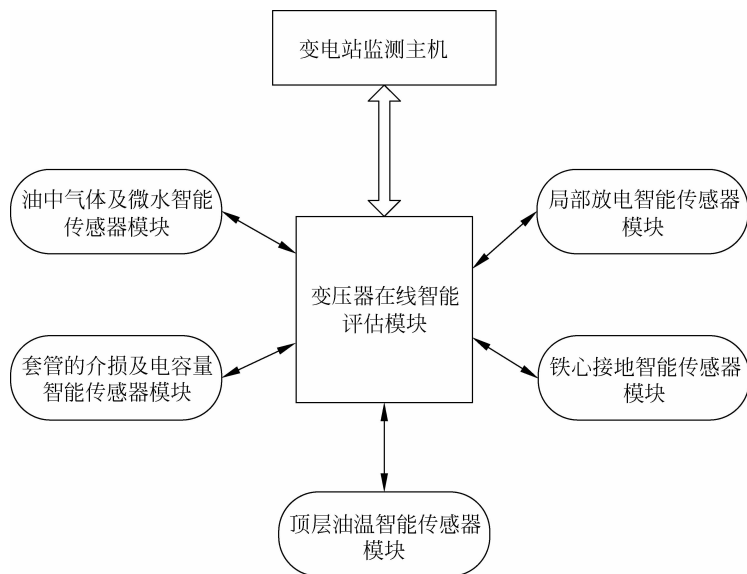


图 3-3 变压器智能监测模块硬件框图

### 1) 油中溶解气体及微水在线监测

在电、热作用下,绝缘缺陷或运行故障会使绝缘油加快分解出故障特征气体,典型的油中气体有  $H_2$ 、 $CO$ 、 $CH_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_2H_4$ 、 $C_2H_2$  等,特征气体的含量、成分及增长率与故障的性质、类型、严重程度、发展趋势密切相关,可实时获取特征气体进行分析,对变压器运行的可靠性作出判断同时进行寿命预测。对各组分特征气体和微水的浓度进行综合监测,具体参数如表 3-1 所示。

表 3-1 各组分特征气体和微水监测参数

序号	气 体	分 辨 率	测 量 范 围
1	氢气( $H_2$ )	$1\mu L/L$	$1\sim 25\ 000\mu L/L$
2	一氧化碳( $CO$ )	$1\mu L/L$	$5\sim 25\ 000\mu L/L$
3	甲烷( $CH_4$ )	$0.5\mu L/L$	$0.5\sim 25\ 000\mu L/L$
4	乙烷( $C_2H_6$ )	$0.1\mu L/L$	$0.1\sim 25\ 000\mu L/L$
5	乙炔( $C_2H_2$ )	$0.1\mu L/L$	$0.1\sim 25\ 000\mu L/L$
6	乙烯( $C_2H_4$ )	$0.1\mu L/L$	$0.1\sim 25\ 000\mu L/L$
7	二氧化碳( $CO_2$ )	$10\mu L/L$	$20\sim 4000\mu L/L$
8	总烃	$1\mu L/L$	$0.2\sim 8000\mu L/L$
9	微水( $H_2O$ )	$1\mu L/L$	$1\sim 800\mu L/L$

### 2) 局部放电在线监测

变压器局部放电是反映高压电气设备状态的一个重要标志。因为很多故障均产生局部放电,局部放电最能有效反映变压器内部的绝缘状况,在线监测变压器内部局部放电信号能及时反映其绝缘状况和发展趋势。因为脉冲电流法的最小可测放电量为  $500pC$ ,测量频带

为 40kHz~3MHz,脉冲时间分辨率为  $10\mu\text{s}$ ;而超高频(UHF)法的最小可测放电量为  $50\text{pC}$ ,频率范围为  $300\sim 1500\text{MHz}$ 。目前,已得到越来越多的研究及应用。

此外,UHF 信号抗电磁干扰能力强,特别对空气中的电晕放电具有极强的免疫力,且采用非接触测量方式,检测系统与一次设备没有任何电气上的连接,不影响一次设备运行,对使用者和检测设备更安全;还具有传感器安装灵活等特点。

采用超高频天线检测及接收变压器局部放电产生的超高频(UHF)信号,可实现对变压器局部放电故障的在线监测。应用数字滤波、相位开窗、动态阈值等多项抗干扰方法,有效消除或抑制干扰,保证采集数据准确可靠。

### 3) 套管介损及电容量在线监测

该模块的监测技术指标如下:介质损耗因数为  $0.1\%\sim 200\%$ ,测量精度为  $\pm 0.05\%$ ;电容量为  $10\text{pF}\sim 2\mu\text{F}$ ,测量精度为  $\pm 0.5\%$ ;而套管接地电流为  $500\mu\text{A}\sim 500\text{mA}$ ,测量精度为  $\pm 1\%$ 。

### 4) 铁心接地电流在线监测

通过铁心接地电流的监测来发现箱体内存异物、内部绝缘受潮或损伤、油箱沉积油泥、铁心多点接地等类型的故障,从而及早发现潜伏隐患,提出预警,避免事故的发生,为设备实现定期检修向状态检修过渡提供技术保证。这里参考的技术指标接地电流为  $1\text{mA}\sim 5\text{A}$ ,测量精度小于  $2.5\%$ 。

### 5) 油微水在线监测

通过顶层油温、底部油温传感器及湿度传感器的安装,可以对绝缘油中含有的微量水进行在线监测。

## 2. GIS/断路器智能监测模块

除了对 GIS/断路器进行局部放电监测外,断路器的监测有其自身的一些特点。其主要监测参数和功能还应包括如下几方面。

### 1) 电寿命监测

分合闸过程电流波形,正常工作和分合闸过程电流幅值,分合闸动作次数、时间及日期,主触头累计电磨损(以  $I^2T$  或  $IT$  表征)。

### 2) 机械系统监测

线圈分合闸时间,分合闸线圈电流波形,断路器动触头行程及超行程,断路器分/合状态。

### 3) $\text{SF}_6$ 气体分解物监测/ $\text{SF}_6$ 气体密度和微水监测。

## 3. 电抗器智能监测模块

同样,电抗器的智能监测也包括局部放电、铁心接地电流、油中气体及微水在线监测。具体技术指标可参见变压器在线监测部分。

## 4. 振动在线监测

实时监测变压器、电抗器的振动幅值,通过分析其振动状态的特征量(峰值、有效值、频率等)的异常,及时发现设备内部的电气、机械故障,为变压器、电抗器的状态监测提供可靠的辅助依据。目前,变电站监测系统可支持 16 台信号采集分站,  $16\times 24$  路振动信号监测通道;测量信号幅值范围为  $1\sim 1000\mu\text{m}$ ;测量精度达到  $0.1\mu\text{m}$ ;测量频带为  $1\sim 1000\text{Hz}$ 。

## 5. 互感器智能监测模块

对互感器的智能在线监测模块,同样可参照变压器智能监测相关部分,对互感器的电

容、介损和局部放电进行在线监测。

### 6. 避雷器智能监测模块

金属氧化物避雷器在运行过程中会逐渐产生老化和受潮,主要针对阀片老化和内部受潮故障进行监测。其监测的内容包括泄漏电流检测、容性电流和阻性电流。

### 7. 电力电缆智能监测模块

通过对电力电缆的绝缘电阻、介质损耗、接地电流、局部放电等的监测来判断电力电缆的运行状况和故障情况,从而对电力电缆的寿命进行评估。

### 8. 在线智能评估诊断模块

在线监测的最终目的就是对设备进行诊断评估。所以,以上所述的输变电设备都需加上在线智能评估诊断模块,在线智能评估诊断模块集数据分析处理、状态评估、输变电设备控制保护以及设备信息上传等功能于一体。由于输变电设备差异,在线智能评估诊断模块具体的实现有所不同。可以说,具有在线智能评估诊断模块是现代智能输变电设备的主要标志,也是与传统输变电设备的重要区别。在线智能评估诊断模块的系统构成如图 3-4 所示。

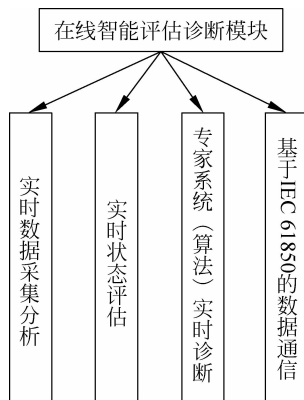


图 3-4 在线智能评估诊断模块的系统构成图

## 3.2.2 变电站其他监测系统

### 1. 变电站电能质量在线监测

电能质量在线监测系统主要由现场监测层、通信传输层和数据管理层组成,系统拓扑结构如图 3-5 所示。组网方式有网线、光纤、无线三种模式。

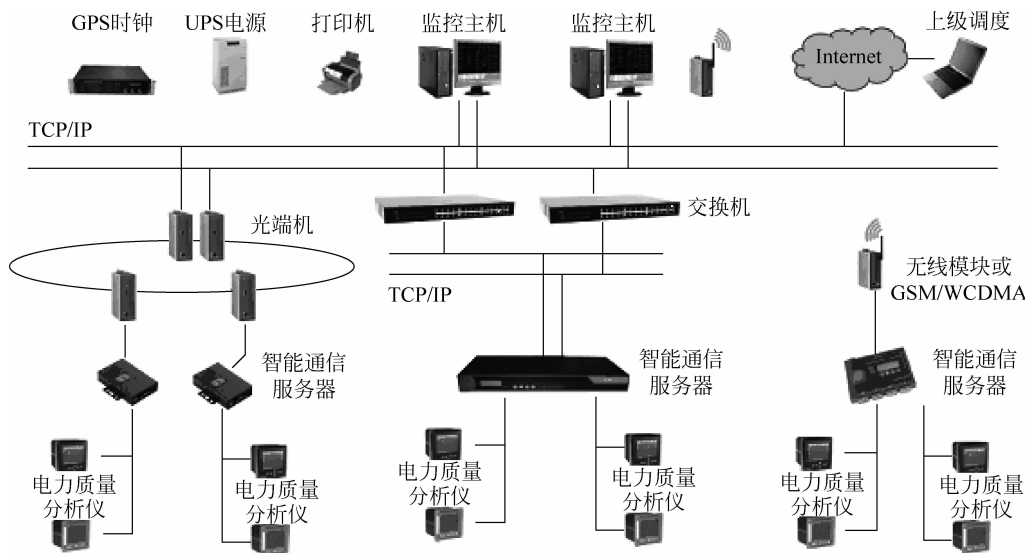


图 3-5 电能质量在线监测系统

### 1) 现场监测层

现场安装各类电能及电能质量监测设备,要求具有通信功能。可以选择安科瑞的ACR330ELH、ACR320ELH、ACR230ELH、ACR220ELH等电力仪表,主要功能为LCD显示、全电参量测量(U、I、P、Q、PF、F、S);四象限电能计量、复费率电能统计;THDu,THDi、2~31次各次谐波分量;电压波峰系数、电压波形因子、电流K系数、电压与电流不平衡度计算;电网电压电流正、负、零序分量(含负序电流)测量;4DI+3DO,RS485通信接口、Modbus协议。

### 2) 通信传输层

为了将监测层设备采集的数据传送到服务器而负责数据通信传输的设备,主要有通信管理机、串口服务器、网络交换机等。数据采集终端通过串口与监测层设备通信,读取其中数据,并进行初步分析、整理,将数据保存在本地SD卡中,之后将数据传输给无线通信模块。无线通信模块采用射频技术,在现场组成无线局域网络,将各点数据采集终端整理的数据收集并传输到后台服务器,也可用网线或光纤的方式传输数据。

### 3) 数据管理层

对采集数据进行存储、解析及应用的过程,包括服务器架设、各种软件的应用。

另外,从系统功能上看,标准的电能质量在线监测系统具有CAD一次单线图显示中、低压配电网的接线情况;庞大的系统具有多画面切换及画面导航的功能;分散的配电系统具有空间地理平面的系统主画面。主画面可直接显示各回路的运行状态,并具有回路带电、非带电及故障着色的功能。主要电参量直接显示于人机交互界面并实时刷新。一般系统主要人机交互包括用户管理、数据采集处理、趋势曲线分析和报表管理等功能。

#### (1) 用户管理。

可对不同级别的用户赋予不同权限,从而保证系统在运行过程中的安全性和可靠性。如对某重要回路的合/分闸操作,需操作员级用户输入操作口令,还需工程师级用户输入确认口令后方可完成操作。

#### (2) 数据采集处理。

系统可实时和定时采集现场设备的各电参量及开关量状态(包括三相电压、电流、功率、功率因数、频率、谐波、不平衡度、电流K系数、电压波形因子、电压波峰系数、电能、温度、开关位置、设备运行状态等),将采集到的数据直接显示,或通过统计计算生成新的直观的数据信息再显示(总系统功率、负荷最大值、功率因数上下限等),并对重要信息量进行数据库存储。

#### (3) 趋势曲线分析。

系统一般还提供实时曲线和历史趋势曲线两种曲线分析界面,通过调用相关回路实时曲线界面分析该回路当前的负荷运行状况。如通过调用某配出回路的实时曲线可分析该回路的电气设备所引起的信号波动情况。系统的历史趋势即系统对所有已存储数据均可查看其历史趋势,方便工程人员对监测的配电网进行质量分析。

#### (4) 报表管理。

系统还具有标准的电能报表格式并可根据用户需求设计符合其需要的报表格式,系

统可自动设计。可自动生成各种类型的实时运行报表、历史报表、事件故障及告警记录报表,操作记录报表等,可以查询和打印系统记录的所有数据值,自动生成电能的日、月、季、年度报表,根据费率的时段及费率的设定值生成电能的费率报表,查询打印的起点、间隔等参数可自行设置;系统设计还可根据用户需求量身定制满足不同要求的报表输出功能。

## 2. 自然环境在线监测

自然环境监测包括温度、湿度、日照、风速、雨量、污秽物等环境参数的监测,及其对变电站电气设备运行、老化、评估等的影响。