

多参量变压器局部放电在线监测系统

一. 电力变压器局部放电在线监测的意义

电力变压器在输变电站网络中占有最大的资产比例。一旦变压器出现突发性故障而无法使用，不但其经济损失将以百万计，而且由停产、停电导致的人们生产、生活的不便将造成不可低估的社会影响。相反，如果严重故障前兆可以提前发现并采取有计划的维护、维修措施，则可避免可能造成的经济损失与社会影响。

一个常见的事实是，一台四、五十年的变压器仍在正常运行，而一台刚服役一、两年的变压器则有可能出现较严重的问题，必须停止使用，送回厂检修。该事实说明，变压器的真实寿命并不取决于与变压器的使用年限。无论对哪个年限的变压器，最关心的还是正在使用的变压器会不会出现突发性故障。而唯一能回答这个问题的方法是对该变压器进行长期的在线监测。

实践表明，变压器的主要致命性故障，如局部放电、过热等，在不同的程度上可以通过不同的技术方法检测出来。如溶解气体分析法或油气分析法可以通过油气成分来监测变压器局部放电状态。然而，该方法反应缓慢，对故障不敏感，数据变化不稳定，无法判断故障位置，无法了解局放发生的确切时间及剧烈程度，无法知悉故障源数量，无法得知局放与负载之间的关系。其它技术方法也有各自的优点与限制条件。任一单因素的局放状态监测都难以取得满意的效果。因此，将多种方法集中起来采用优势互补的方式可以更有效、更可靠地实现监测目的。

鉴于此，自2000年以来，美国物理声学公司（PAC）与最具权威与专业化的电力设备研究者之一美国电力科学研究院（EPRI）合作致力于开发采用多参量的变压器局部放电在线监测技术系统。在采用多参量尤其是利用声发射进行电力变压器局部放电识别与定位上取得突破性进展。在对500多台在役电力变压器进行有效检测监测的基础上，成功地开发了集声、热、电、油气分析于一体的，可自动实现三维定位的，全天候互联网在线监测系统。至2009年底，三十余套多参量变压器局部放电在线监测系统已日夜运行于美国的几个主要的电力供应公司。图一是一台装有多参量局部放电在线监测系统的变压器。



图 1. 多参量局部放电在线监测系统现场安装实例照片

二. 多参量在线监测方法概述

众多的研究和试验表明，尽管某一单一的参量有可能在一定的时刻一定的条件下反映局部放电状况，但单一参量难以反映各种不同条件下发生的局部放电状况。采用多参量监测则可通过技术互补与相互验证的方式提高监测的灵敏度与可靠性，通过 PAC 与 EPRI 对数百台变压器的共同研究，根据不同方法的有效性，可行性，实用性，经济性，可操作性等条件筛选出了一个以能进行实时监测及局放三维定位的声学方法为主的，辅助以热、电、油气分析及其他方法的多参量局部放电监测技术与系统。该技术包括采用多通道的声发射系统对局部放电进行实时监测与三维定位；采用热敏传感器对变压器主油槽温度进行监测；并与声发射信号配合以观察变压器局部过热现象；采用电流传感器分别对负载电流及主泵电流进行监测以观察负载对局部放电的影响；采用化学分析传感器以采集溶解的油、气成分并对局放的趋势性状况进行分析。

在诸多参量的监测中，声学参量即声发射监测的主要优点为：

- 实时性高，声发射有极高的响应速度，可以捕捉和区分每一个瞬态的局放脉冲。图 2 为一捕捉到的局部放电脉冲产生的声发射信号，其持续时间小于 1 毫秒。
- 跟踪性强，声发射具有很强的续航工作能力，可以长时间的（如数月，数年的）跟踪局部放电变化情况，可以揭示局放什么时候发生（精确到毫秒），发生的次数是多少，每天的局放发生的时段，局放信号的强弱。
- 局放信号特征的自动识别，现场监测不可避免地会遇到许多噪声，尤其是在全天候，四季变换的条件下进行监测更是如此。PAC 开发了声信号与局放脉冲信号软件同步技术，使得噪声可自动滤除，而局放信号可由声脉冲谱或局放相位特征直观表现出来。图 3 为由声发射信号处理软件自动获得的局放发生时的相位图谱（图 3a）及噪声（下雨）时的相位谱。
- 局放源三维自动定位，声发射监测有别于其他技术的一个很重要特点是可以对局放源进行三维定位，通过定位可帮助用户查找分析故障源及可能的危害程度，准确、方便地提出对故障的解决方案。此外，声发射还可对多个故障源同时定位以确定多重故障源的位置，避免漏检或出现错误的判断。图 4 为局放三维定位的例子。图中的红点代表了局放事件及局放源所处位置。
- 不影响变压器正常使用，有一些局放监测方法必须在变压器停止使用的状况下才能安装传感器，或才能对监测系统进行维修、维护。但对于声发射技术来说，可以完全在变压器带电运行的状态下进行安装，调试和使用。及时在使用过程中传感器或系统出现故障需要更换或维修，也可在不影响任何变压器正常使用情况下进行。

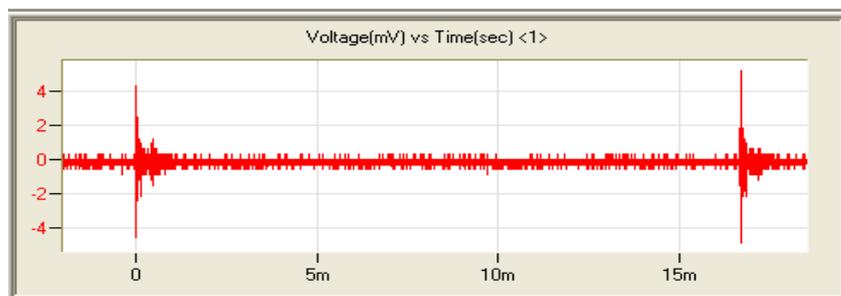
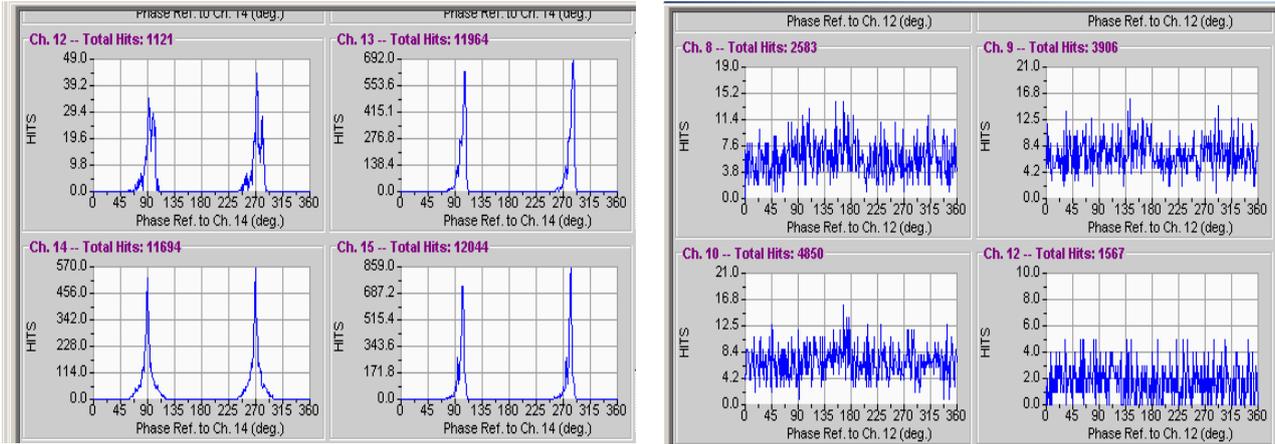


图 2. 瞬态局放脉冲产生的声发射脉冲波形

由于声学监测方法的以上特征，再辅助以其他热、电、化学分析方法同时进行监测，可以极大提高对局放监测及分析判断的可靠性。如通过对载荷监测可以了解每天二十四小时在那些时段、那些负载的情况下出现局放；通过对风扇主泵电流及主油槽油温的监测，可以判断所监测到的声发射信号是否受变压器过热的影响；对总烃的监测可以帮助了解长时间来局放造成油气成分变化的累计效应。另外，除以上参量外，如资金许可和有特殊需要的情况下，更多的参量，如分接开关的振动，射频电流，对地电流等均可加入多参量监测系统中以实现更复杂、更多条件的监测要求。



(a) 局部放电相位图谱

(b) 噪声(下雨)相位图谱

图 3. 局放特征模式的自动识别

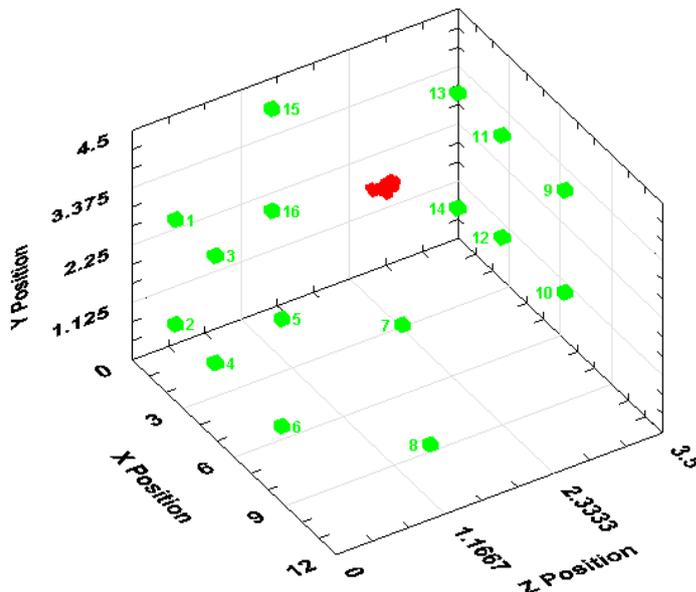


图 4. 局放三维定位示意图

三. 多参量在线监测系统概述

为了实现有效的监测管理，多参量监测系统必须是一个能集成多种传感器或子系统于一体的计算机集中控制监测系统。由于大多数电力变压器均安装在室外，或即使是安装在室内也是在无空调的环境下运行，因此要求在线监测系统要有全天候工作的能力。既能在炎热的夏天与寒冷的冬天正常运行，又能防湿，防潮，不致受雨、雪、风暴等恶劣气象条件的影响造成系统不能正常工作。所以该系统对环境条件的要求较高，系统应既能在-35℃-70℃的条件下工作，且具有 IP66 防水功能。

美国物理声学公司的 SHII-SRM 系统正是能够实现上述要求的专门用于局放在线监测的系统。该系统由一可在全天候条件下工作的计算机控制主机箱及配套传感器，模拟与数字参量输入接口，网络接口，现场数据采集信号分析处理软件及互联网监测软件组成。该机箱具有 IP66 防水功能，能够在-35℃-70℃的范围内连续工作。其声发射通道为 4 通道一个模板，最大可达 16 通道。此外该监测系统还可提供 16 通道的其它参量输入，一个 RS232 接口，两个 USB 接口，一个互联网线接口，系统的主机 CPU 为 PENTICON M, 1.1GHZ，采用 32GB 固态硬盘存储数据。系统在 WINDOWS 操作系统下运行，既可独立运行，又可在现场由笔记本电脑控制运行或通过网络远程控制运行，系统的主要技术参数如下。

主机 CPU:	Pentium M, 1.1GHz (SHII-SRM)
操作系统:	Windows Embedded (SHII-SRM)
数据存储:	32 GB SSD
网络:	Ethernet 10/100 BT
USB 口:	2
串口:	1 RS-232
声发射通道数:	8 - 16
声发射带宽:	1 KHz- 1 MHz
A/D 速率及位数:	20 兆采样点, 18 位
其它模拟参量输入通道数:	16
电源要求:	85-260 VAC or 9-28 VDC
标准机箱:	Steel, NEMA 4
防水标准:	IP-66 (Indoor/Outdoor)
重量:	< 35 lbs. w/enclosure
尺寸:	20" x 16" x 6" or optional 20" x 20" x 8" or 24" x 20" x 8"
工作温度:	-31° - 158° F (-35° - 70° C)
储藏温度:	-40° - 167° F (-40° - 75° C)

图 5 为 SHII-SRM 在线监测系统功能配置图。取决于变压器的大小，多参量监测系统可配有 8-16 个通道的声发射监测功能及不小于 4 个通道的其他参量监测功能。声发射的带宽应不小于 20—400KHz。每一声发射通道应具有模拟滤波器。各个声发射通道之间应具有时钟同步功能，且同步误差应不大于 1 微秒。声发射软件应具有三维自动定位功能，即系统能自动判别局放信号到达各通道的时差，实时计算出局放源位置，而无需用人工干预的方式选择时差，事后计算出声发射源位置。除声发射定位外，系统还应具有如图 3 所示的软件相位同步功能以剔除噪声信号并抽取特有的局方特征模式。

除声发射监测功能外，多参量监测系统还应配置两个电流传感器用以监测负载电流与主泵电流，一个温度传感器用以监测主油槽温度。另外，该系统应提供模拟量接口或数字接口，如 RS-232 或 USB 接口等，以连接用户已安装的或准备安装的溶解气体分析仪。如客户的溶解气体分析仪输出为代表总烃含量的 4-20 毫安模拟量信号，则该输出可直接接入多参量监测系统的外参量输入。如其输出为数字信号，则可接至监测系统的数字输入口并匹配数字输入-输出格式以读取不同的油气成分含量。如用户有特殊需求，可增加其它模拟参量输入信号。模拟参量的总数可达 16 通道。

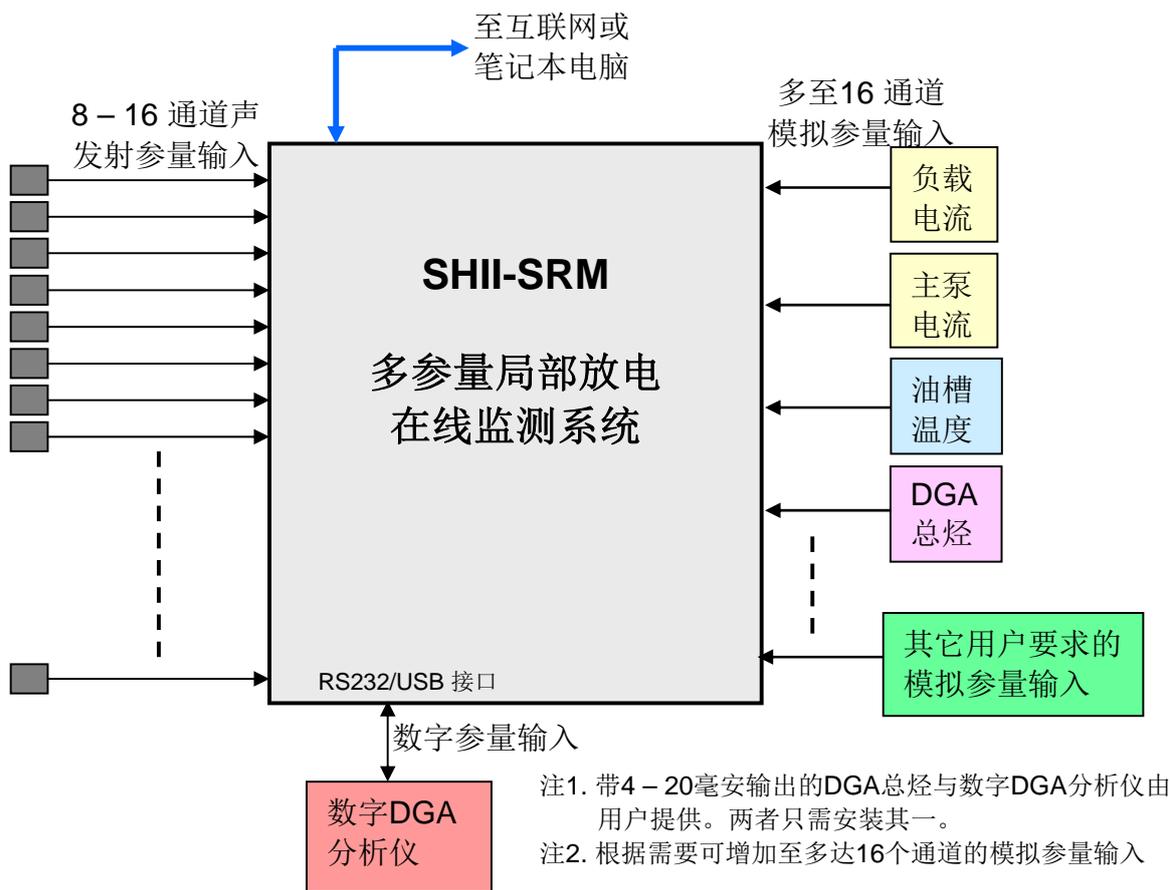


图 5. 多参量局放监测系统 SHII-SRM 功能配置图

该监测系统除了能在现场采集数据并进行局放分析外，还具有通过互联网或无线网络进行远程监测分析的能力。网络监测系统的架构如图 6 所示。除了多种传感器可接入系统外，该系统还具互联网接口，既可使用笔记本电脑在现场进行监测设置、参数调整、测试检查及数据分析，还可在变电站控制室进行远程操控。此外，监测数据亦可定时通过互连网络传到用户的网络服务器，并通过事先设计好的网页显示监测结果。使用者可在任一时刻，任一地点，任一联网的计算机上观察当前及过往任一时刻的监测结果，调阅以往监测报告或撰写新的监测报告。

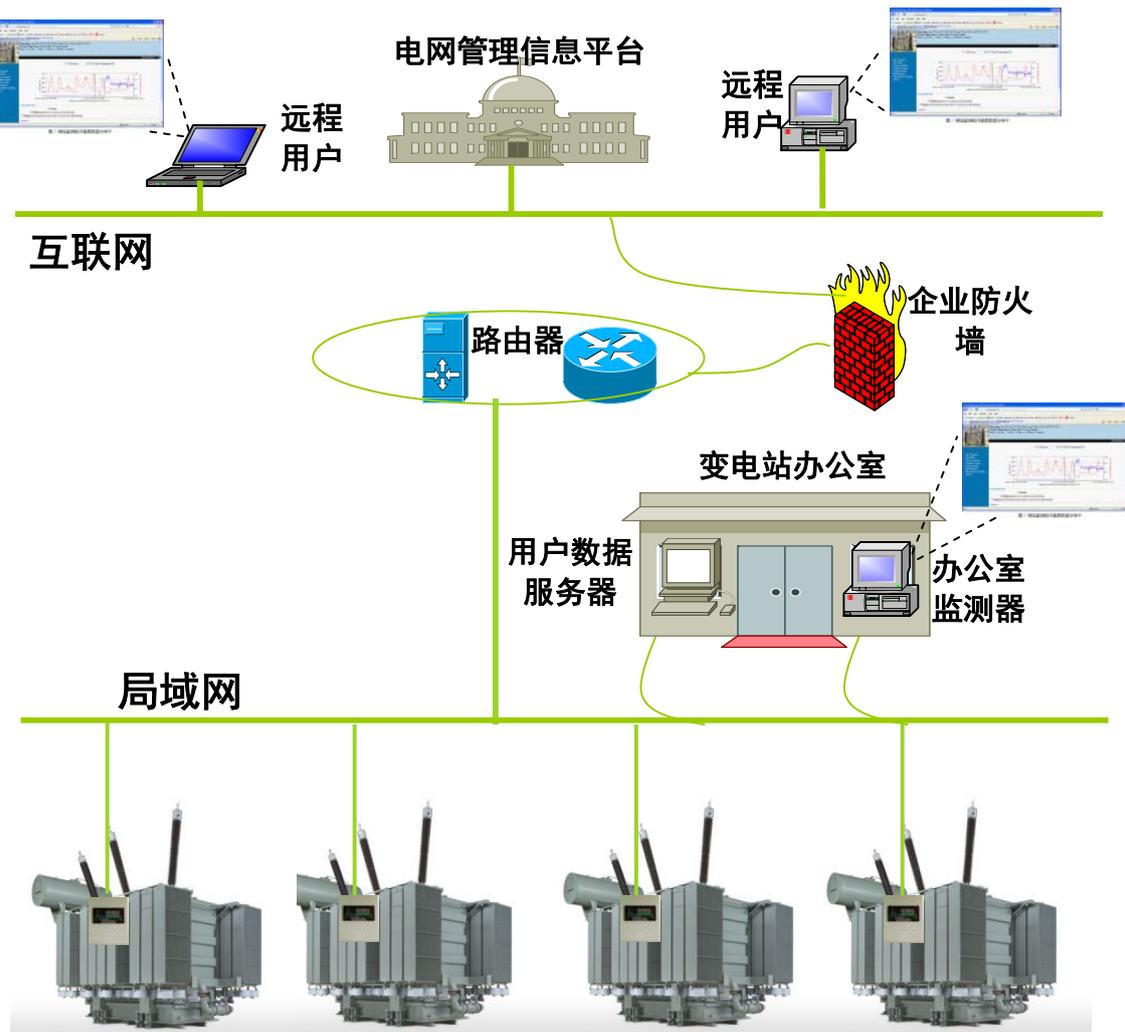


图 6. 多参量局放监测系统网络架构图

图 7 为一实际在线监测系统的网络监测图，该图显示了自 2010 年 2 月 6 日至 2010 年 2 月 16 日其间的某一变压器在线监测结果。图中兰线为监测到的局部放电次数，红线为油温变化情况。大约在 2 月 12 日左右出现局放。由于局放出现时温度曲线并没有相关连的变化，故判断该局放发生与过热没有太多关系。实际上该图有两个纵坐标，即兰线与红线。用户可任意选取两个参量进行显示。另外，横坐标的起、止时间可随意调整。既可观看近期的监测结果，又可

回顾过去的趋势性记录。此外，用户还可通过网络监测软件观察局放定位图以了解局放源相对于变压器结构的位置。

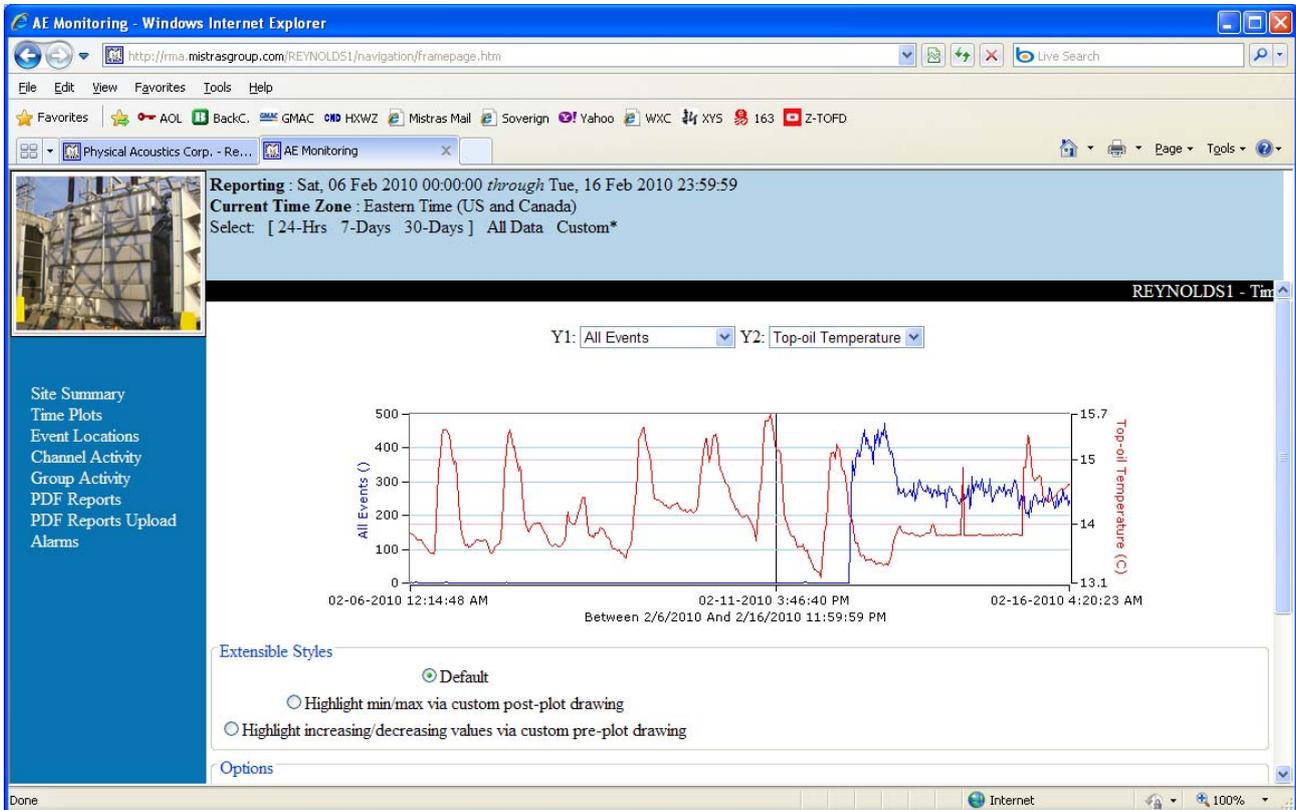


图 7. 网络监测软件趋势图显示例子

四. 技术服务与培训

美国物理声学公司对用户提供全面的技术服务与培训。主要服务与培训内容包括有：

1. 在线监测系统现场安装、调试，包括各种传感器安装、布线、灵敏度测试；软件安装，参数设置、调试；背景噪声测试、系统初始运行检查等。
2. 互连网远程监测软件在用户伺服器的安装、用户监测网页设置、远程监测网页启动与测试。
3. 系统初期运行时的问题反馈与解答，监测系统及网页的优化调整；系统稳定运行状态的检验。
4. 系统稳定运行后对用户数据分析问题的答疑，对疑难监测结果提供诊断参考，协商用户提出的一些特殊技术服务要求。
5. 对用户进行系统运行操作培训，简单的系统维护培训，网络监测培训，数据分析培训，局放模式识别培训等。