

借助 OPT100 在线 DGA 监测系统确定热点

维萨拉 OPT100 安装在位于阿根廷 - 乌拉圭交界的 CTM Salto Grande 公司处，用于评估 50/50/100 MVA 变压器上的气体问题，这样在变化的工作状况下经过一年针对于此的研究，就可以确定气体水平与工作状况（比如负荷与顶层油温）之间是否相关。

问题背景：

CTM Salto Grande 2002 年安装了 OFAF 100 MVA 密封单相 GSU 变压器，并且从试运行开始就怀疑存在过热问题。乙烷以及较小程度的甲烷已经出现并且一直在增高。温度问题对于这个变压器而言是特别值得关注的问题，因为变压器油中含有 DBDS，温度较高时可导致腐蚀性硫的形成。几乎找不到任何氢，除了在油中添加 Irgamet39 金属减活剂之后会出现高峰，而这种现象被认为是由于 Irgamet39 导致的杂散气体产生所致。环境空气中还存在同等水平的氮气（而不是氧气）。

项目概述：

2017 年 6 月，安装了维萨拉 OPT100 多气体 DGA 系统，用于实时测量主要的故障气体（图 1）。该监测系统在运行期间连接到变压器，因为水电站的工作状况不允许任何中断。OPT100 的独特设计决定了这根本不成问题，而且只用了半天就完成了安装。使用 OPT100 基于浏览器的集成软件以及一个蜂窝调制解调器来收集信息。

在一年的时间内，变压器维护团队分析了 DGA 数据并将其与变压器工作状况作比较，以查看二者之间是否有任何相关。此过程期间，每两到三周 CTM Salto Grande 就会采集油样本，在他们的实验室内进行分析对比（图 2）。

2017 年 10 月对该变压器进行了排气。此期间 OPT100 未停止测量。同时，每两小时就采集一次实验室样本。两组结果的情况显示在图 3 中。

发现：负荷与气体对比

图 4 显示：OPT100 在线监测系统以及实验室参照数据测量的变压器负荷和油中 CO₂ 浓度均显示：高负荷期间 CO₂ 明显升高。负荷较小或变动时，CO₂ 保持稳定甚至降低。这可能表明：长期存在较高负荷时，变压器内部有一个较热区域导致从纸张或油形成了 CO₂。

负荷和温度较低期间 CO₂ 的降低可能是因为纸张与油之间的 CO₂ 交换随着温度而变化。单从负荷数据来看这一点并不明显，但当我们考虑到估计的热点之后，它就变得清晰起来：

$T_{\text{热点}} \approx T_{\text{顶层油}} + H * gR * ipu^2$ ，其中 gR 是在 FAT 期间在工厂测量的线圈与油之间的平均温度差，H = 2 是估计的热点因子（图 5）。

使用估计的热点温度试算了若干数学模型：一个是线性模型，另一个是包含作用于 CO₂ 浓度的热点阈值（估计在 +70°C 左右）的模型。需要进一步的工作来细化这些模型。不过，这不是简单的相关，因为随时间推移可能出现大量 CO₂ 交换，而这不是仅仅几天的数据能够显现出来的（图 6）。

而 CO₂ 降低的另一个可能原因也许是因为环境空气与油之间存在较高的分压梯度而造成油箱漏气，尽管这是一个密封的变压器。不过，氮水平在排气后相对较快地提高这一事实表明：该变压器并非完全不透气。

其他故障气体（除非可能是 C₂H₆）在试用期间都未显示出与负荷有任何明显的



图 1. 安装的在线 DGA 监测系统 OPT100。进油管 and 出油管连接到底部的排放阀。



关(图 7)。排气后气体水平立即提高很可能是因为在油中有部分气体不能排气,例如浸在纸上的油和卡在狭小空间里的油。当这部分油扩散回处理过的油中时,气体水平随之提高。

结论:

该研究的结果表明: 变压器负荷与 CO₂ 之间明显相关。

目前对作者而言, 较低负荷期间 CO₂ 的降低是否是因为油与纸张之间的 CO₂ 交换或变压器泄露 CO₂, 这一点尚不明确。需要进一步的分析来确定热点位置。

得益于 OPT100, CTM Salto Grande 能够更好地确定变压器中问题的成因以及需要执行哪种类型的纠正措施来解决该问题。目前已经启动进一步的测试, 而且在线安装 OPT100 后, 气体(乃至可能会恶化为较严重故障的热点的风险)现在都处在监测当中并且得到较好的控制。

脚注:

对于 OPT100, CTM 的资产维护经理 Eduardo Brioso 给出了这样的书面反馈: “安装后的两年内, 设备未出现任何问题, 根本不需要用户介入, 也不需要任何耗材。”



图 2. DGA 样本的实验室结果。

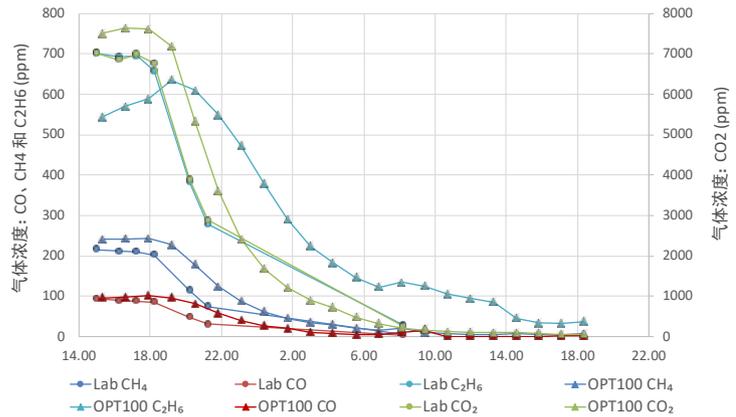


图 3. 排气阶段与实验室样本分析对比的 OPT100 响应。

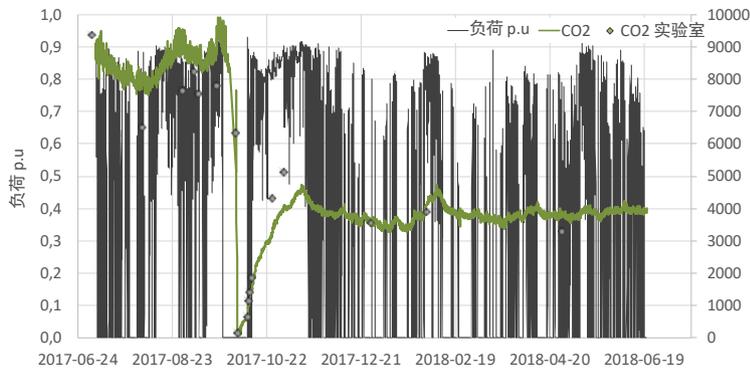


图 4. 试用期间 CO₂ 与负荷的对比。

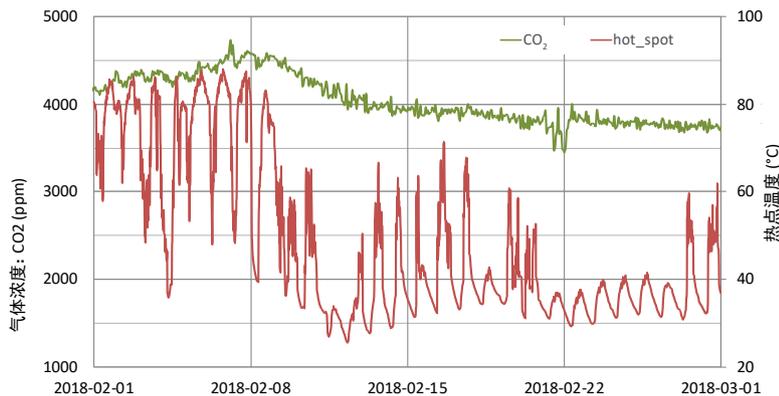


图 5. 一个月内的计算热点温度和油中 CO₂ 浓度。

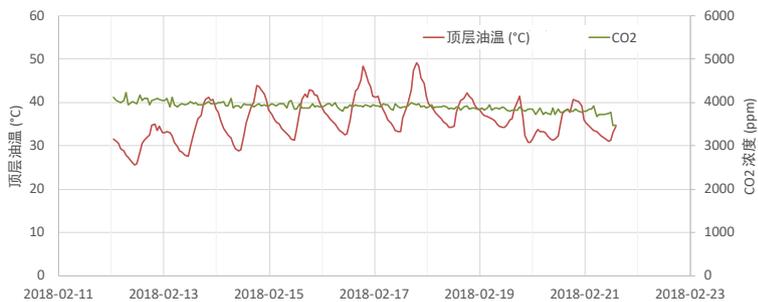


图 6. 约一周内的顶层油温和油中 CO₂ 浓度。

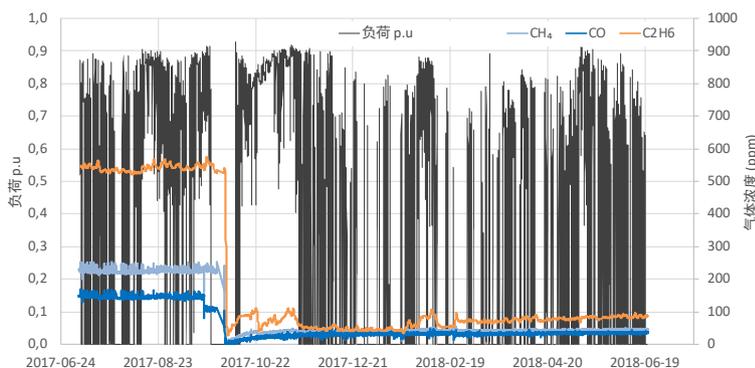


图 7. 试用期间的其他故障气体和负荷。

比较 OPT100 与实验室测试

除响应时间之外，在整个期间内对监测系统读数与实验室 DGA 结果进行了比较。为简便起见，图 8 仅显示了甲烷。蓝线是来自监测系统的测量数据，灰色区域是监测系统的准确度规格。实验室参照数据显示为蓝点。

通过将在线监测系统与实验室参照数据对比对该系统进行评估时，必须考虑到样本质量和实验室过程的不确定性。此外还需谨记，任何一种分析方法（不论是实验室还是在线监测系统）都有其自身的不确定性。所以，在比较结果并对监测性能作出结论时应该考虑到以上因素。

在此案例中，由于实验室的不确定性未知，所以根据 IEC 60567 [3] 中发布的平均实验室准确性示例使用了 +/- 15%。因此，要将实验室与在线 DGA 作比较，比较趋势要比比较实际测量值更有意义。如果趋势相似而且具有不确定性的区域重叠，则可以推断出这两种不同方法的广泛一致性程度很高。

总体来看，CTM Salto Grande 对于读数的相关性极为满意，并且准备在其产品系列中另外增加在线 DGA 监测系统来监测变压器操作。采样和实验室测试在特定方面（比如响和绝缘强度）会继续进行，但变电站维护经理同意“增加在线 DGA 和水分为我们提供了一种关键工具，该工具可帮助 CTM Salto Grande 实施预测性维护项目。”

油中水分

变压器油中的水分随着温度波动（或是因为负荷，或是因为环境温度，或是因为这两者）而变化。本研究中可以看到这种影响，如图 9 所示。图中显示了一年内顶层油温和油中水分 (ppm)。其中显示了水分如何随温度升高从绝缘纸表面释放到油中，然后随温度降低又重新被绝缘纸吸收。

不过，放水是比吸水更快的过程，因此绘制水分（单位为 ppm）随顶层油温变化的图（图 10）时，滞后显而易见。这意味着具有变动负荷的变压器永远不能达到均衡。

这种现象使得人们很难界定采集油样本进行实验室水分分析的最佳时机。在同一温度，油中水分可能因为滞后影响而显著变化，不论变压器温度在采样时是升高还是降低。

在采集油样本以确定具有变动负荷和波动温度的变压器在固体绝缘中的水分时，这是一个非常重要的考虑因素。这也是在线水分测量值对于确定油/纸张中的长期水分趋势影响极大的一个关键原因。但这也表明：采集油样本时，为了能对变压器中的水分作出任何结论，务必也要始终记录油温。

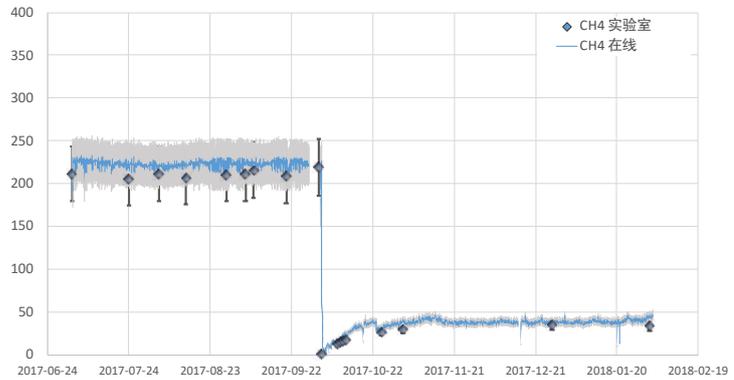


图 8. 针对实验室参照数据（±15% 误差条）绘制的 OPT100 DGA 监测系统甲烷读数（准确度误差 ±10%，灰色区域）。

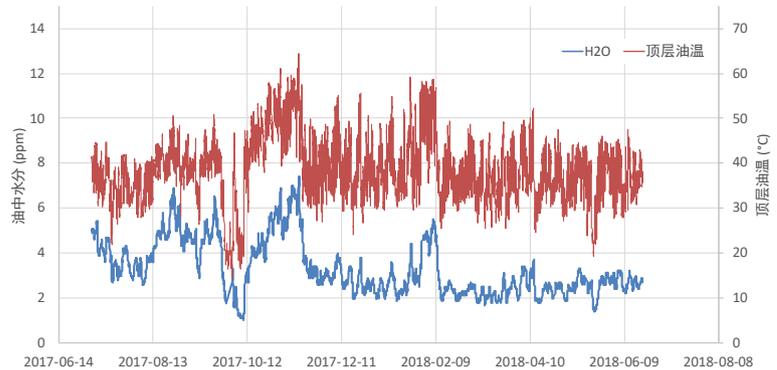


图 9. 随时间变化的油中水分 (ppm) 和顶层油温。

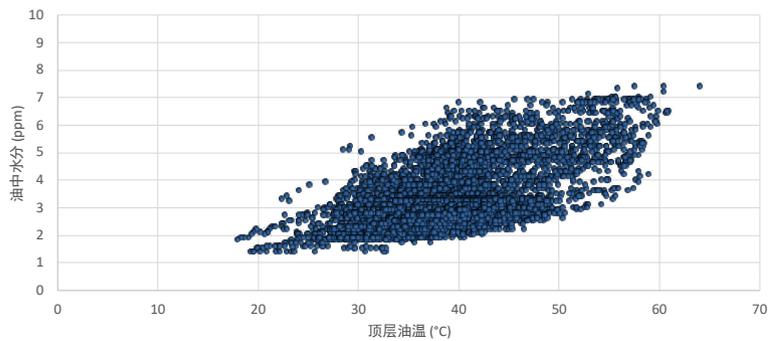


图 10. 油中水分与顶层油温。

VAISALA

请通过以下网址联系我们：
www.vaisala.com/contactus



扫描代码获取更多信息

Ref. B211814ZH-A ©Vaisala 2019
本资料受版权保护，维萨拉及其合作伙伴保留所有版权。保留所有权利。所有徽标和/或产品名称均为维萨拉或其单独合作伙伴的商标。未经维萨拉事先书面同意，严禁以任何形式复制、转让、分发或存储本手册中的信息。所有规格（包括技术规格）如有变更，恕不另行通知。

www.vaisala.com