

维萨拉 Optimus™ DGA 监测系统

电力变压器是变电站的最昂贵资产，通常占总投资的 60%。在从发电到配电的过程中，电力变压器对于确保整个电网中可靠的电力供应也至关重要。对于电力设施的基于状况的现代维护策略而言，在线监测和自动状态评估已然不可或缺。为了提供有关变压器状况的准确数据，可靠的 DGA 监测系统至关重要。但是，市面上有多种不同的 DGA 监测系统可供选择，并且用户可能很难区分来自不同制造商的各式各样的设备。本技术指南介绍了 DGA 监测系统的最新发展，以及这些 DGA 监测系统如何显著降低老款监测系统中采用的测量技术所导致的不确定性，并且着重介绍了从油中提取气体的方法以及基于红外气体检测中的交叉敏感性。

从油中提取气体

借助维萨拉 Optimus DGA 监测系统，可以在部分真空下从变压器油中提取气体，这意味着可以在受控温度下在绝对压力非常低时进行提取。与传统的顶部空间或薄膜方法相比，真空抽气可导致更完整的气体分离；因此可显著降低对油中气体溶解度值（也称作奥斯特瓦尔德（Ostwald）系数）的依赖，并且在宽范围的油中更可靠。

在使用传统的顶部空间提取方法时，为了从仅部分提取的气体中计算油中气体浓度，需要利用奥斯特瓦尔德（Ostwald）系数。这些系数对于不同气体而言是不同的，并且依赖于温度、油质量和基础油品类型（例如，环烷或石蜡）。借助维萨拉 Optimus DGA 监测系统的部分真空提取技术，由于这些系数中的差异所导致的测量不确定性仅是采用顶部空间方法的三分之一。

代替使用真空泵，该 Optimus DGA 监测系统采用一种拥有专利的方法，该方法在油缸中利用油量作为活塞，通过使用磁力齿轮泵移动油以便在油层容量的上方形成真空。然后，油样通过真空喷洒以便提取气体（图 1）。

使用真空可实现更完整的气体分离，甚至在变压器油中全部溶解的气体的压力远低于饱和时增加测量可靠性。例如，在以下情况下时气体的压力可能会远低于饱和：密封的变压器，或者经过除气工艺总气体压力可能远低于 100 mbar。

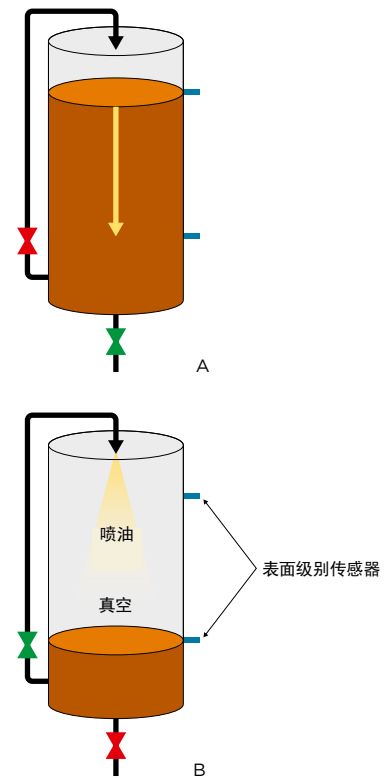


图 1. 通过使用油缸顶部处的闭合阀将油泵出，在油层的上方形成真空 (A)。通过真空喷油提取气体 (B)。

基于红外的气体检测

在提取的气体分子暴露在非色散红外光 (NDIR) 之下时, 它们会随着逐渐转移到激发分子状态而吸收能量 (图 2)。吸收的波长对于每种气体而言是唯一的, 这形成特定于气体的“指纹”, 可用于确定提取的气体混合物中的气体成分 (图 3)。吸收强度取决于气体浓度, 因此可以确定每种特定气体的占比。

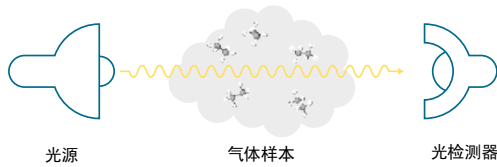


图 2. 示意图中显示了由转移到激发状态的分子导致的红外光吸收。

IR 测量是一种基础的气体分析方法, 其中, 故障气体的特定的吸收波长和吸收不会随着时间而变化。这使得能够实现长期的免校准操作, 只要了解了其他可能的漂移机制并且使用 DGA 监测系统进行了补偿。

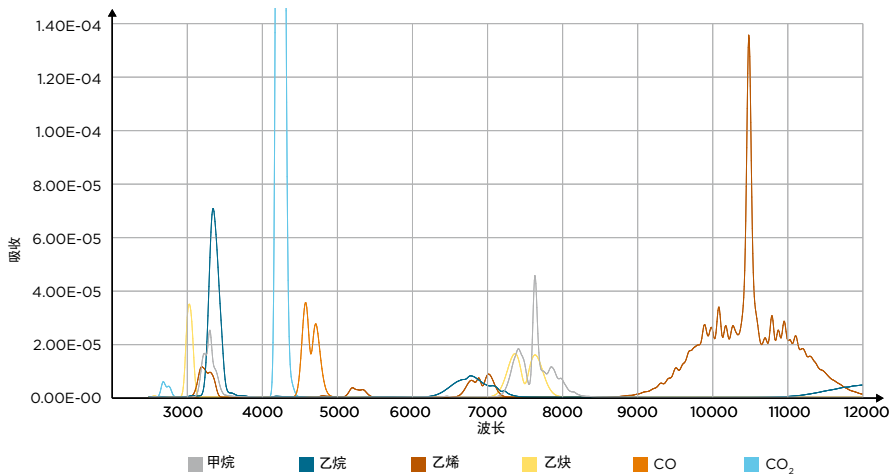


图 3. CO₂、CO、乙炔、乙烯、乙烷和甲烷气体的红外光吸收。

Optimus DGA 监测系统的温控 IR 模块由光源、带通滤波器、气室、镜子和检测器构成 (图 4)。使用带通滤波器选择测量的波长, 带通滤波器仅允许特定的波段通过。可调谐滤波器允许更宽范围的 IR 扫描, 除了峰值之外还可以揭示吸收区域的形状。该模块对 IR 吸收以及吸收峰的形状进行分析, 以便为检测到的不同气体及其浓度提供优异的选择性。最终的气体分析基于使用宽广的波长范围收集的信号。

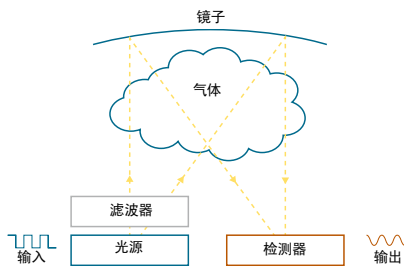


图 4. Optimus DGA 监测系统 IR 模块的示意图。

所有 IR 传感器元件（包括微辉光源、滤波器和检测器）均为在单晶硅晶片上制成的微机电系统 (MEMS)。专门针对 Optimus DGA 监测系统对这些元件进行设计和优化，并且在维萨拉自有的洁净室中制造。为了最大限度地提高可靠性，在光学测量模块中不含移动部件。

消除漂移

尽管基于红外的测量是一种故障气体的吸收特性不会随着时间而变化的基础测量方法，但测量信号仍有可能受到其他因素的影响。DGA 监测系统应补偿或消除此类漂移影响。

IR 技术中典型的漂移机制包括传感器部件（例如光源和检测器）的污染或老化。应该消除这些漂移机制以便实现长期稳定测量，这至关重要，因为气体趋势是揭示变压器状况的最重要的信息来源之一。

维萨拉开发了许多独有方法并拥有相应专利权，可以克服漂移并确保稳定的测量值，而无需对监测系统进行重新校准。借助 Optimus DGA 监测系统，可以建立和控制内部气体提取和油处理机制，以便油中受污染的化合物无法在光学表面上聚集并导致长期漂移。使用完全密封的机械结构消除了任何外部污染，这意味着来自环境空气的任何化合物都无法接触到光学元件并影响测量结果。

提供参考测量

Optimus DGA 监测系统采用了一种新方法，在该方法中，在 IR 吸收扫描期间应用的真空可用作参考测量。在每个油采样周期中，都会使用存在的已提取气体以及充当参考的后面的测量值（在已从光学模块中消除了气体后的真空下）对预先定义的波长范围的扫描进行测量。这两个扫描信号的比率定义了实际吸收以及气体浓度。

因此，每个测量周期都会补偿来自光学部件的可能漂移，无论漂移是由于老化还是污染导致的。图 5 显示了 IR 传输信号的一个示例，分别展示了存在气体时和真空下（无气体）在稳定测量期间以及在光源强度中发生 10% 漂移时的情况。

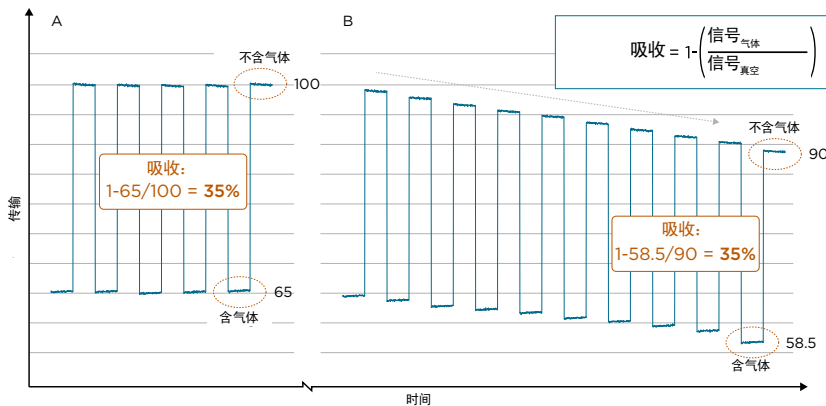


图 5. 光学器件中真空阶段期间 IR 参考信号的工作原理。A) 稳定测量，B) 光源强度中 10% 的漂移。

针对长期性能的自动校准

使用中的变压器油具有非常复杂的化学成分，包括用于变压器诊断的关键故障气体和较重的烃类气体以及其他挥发性有机化合物 (VOC)。烃类气体和 VOC (干扰气体) 的 IR 吸收谱带可能会与故障气体重叠，这会干扰吸收信号，并因此也会对气体分析造成影响。

但与关键故障气体相比，这些化合物具有不同的物理特性。在 Optimus DGA 监测系统技术中利用了不同气体的这一物理差异。在不同条件下提取气体时，较重的烃类气体的提取量会显著降低。通过 IR 吸收，在每个提取步骤都会检测干扰气体的这一降低 (图 6)。借助此方法，可以计算出干扰气体的相对比例，并从实际测量信号中相应减去干扰气体。

此功能称作自动校准。自动校准的首次运行将在安装后立即开始，以便监测系统了解油中存在的烃类气体和 VOC 的混合情况。在 Optimus DGA 监测系统的常规操作期间，该自动校准功能定期运行，以便它可以检测 VOC 成分中的变化并且相应进行补偿，从而确保长期可靠性能。

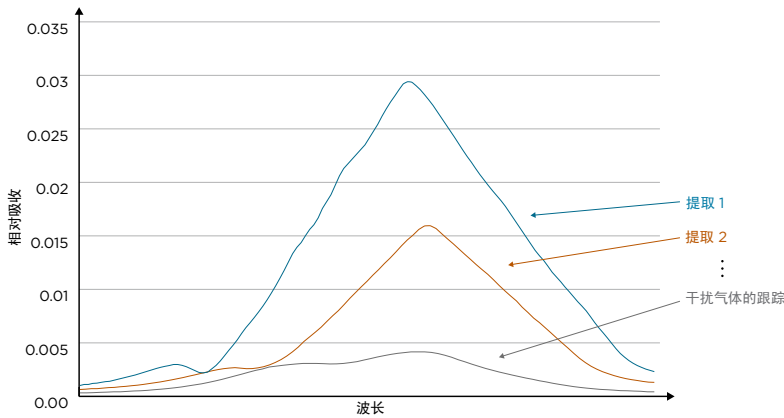


图 6. 不同条件下的气体提取降低了吸收扫描中干扰气体的比例。

独有的维萨拉 Optimus DGA 监测系统可以通过非常简单的方法形成真空条件，仅需一个油泵和几个磁阀即可。这为测量精度和稳定性带来两个重要优势：

气体提取效率远远优于基于顶部空间或薄膜采样的典型监测系统，并且可以使用强大的真空参考测量方法来补偿 IR 测量技术中存在的所有主要漂移机制。

此外，油和气体处理机制完全封闭，因此漏油的风险可以忽略不计，并且可以防止环境水分和氧气造成的任何油污染。

这些优势结合 Optimus DGA 监测系统的自动校准功能，可帮助确保多年的精确性、可靠和免维护操作。

VAISALA

www.vaisala.com

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. B211813ZH-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。