

技术说明

VAISALA

# 维萨拉 Optimus™ DGA 监测系统 OPT100



# 维萨拉 Optimus™ DGA 监测系统 OPT100

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。

为确保相关设备可长期操作，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。可靠的 DGA 监测系统已成为提供有关变压器状况的准确数据的重要工具。但是，由于市面上有多种不同的 DGA 监测系统可供选择，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，并且在跨广泛的油范围时更可靠。

相比之下，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，则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）。利用维萨拉 Optimus™ DGA 监测系统的部分真空提取功能，与系数差异相关的测量不确定度可以降低到顶部空间测量不确定度的三分之一。要产生真空，Optimus™ DGA 监测系统不使用真空泵。代替使用真空泵，该监测系统采用一种独特的方法，即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）。

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)。

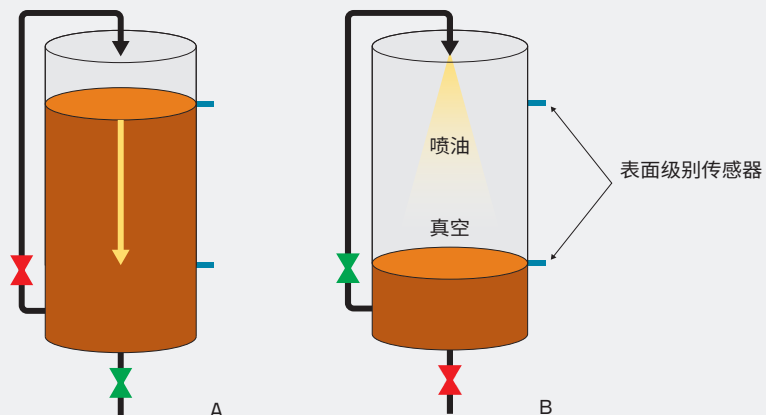
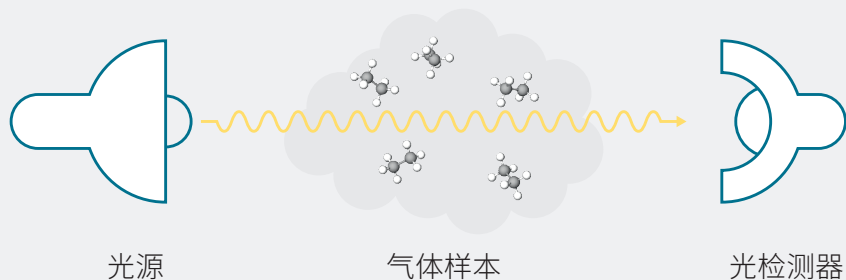


图 2. 由转移到激发状态的分子导致的红外光吸收的示意图。



使用真空提取技术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非常低时增加测量可靠性。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远低于 100 mbar。

### 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,因此可以通过测量光强度确定每种特定气体的占比。

IR 测量的主要优势之一即,它是一种基础的气体分析方法,其中,故障气体的特定于气体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. CO<sub>2</sub>、CO、乙炔、乙烯、乙烷和甲烷气体的红外光吸收谱带。

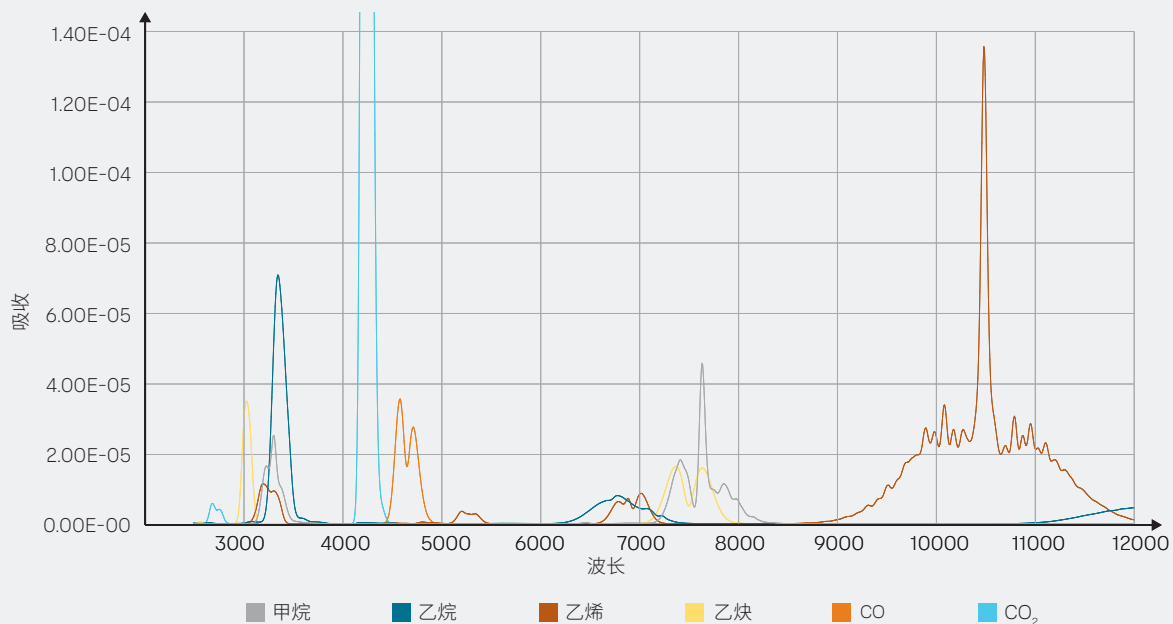
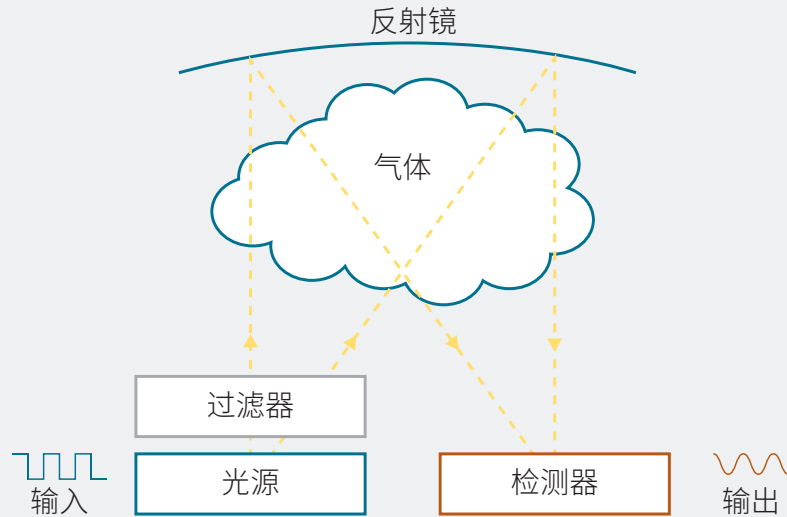


图 4. Optimus™ DGA 监测系统 IR 模块的示意图。



Optimus™ DGA 监测系统的温控 IR 模块由光源、带通滤波器、气室、反射镜和检测器构成 (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。作为该模块的一个关键部分,可调谐滤波器允许更广范围的 IR 扫描,揭示吸收区域的形状和峰值。该模块通过对 IR 吸收以及吸收峰的形状进行分析,能够为检测到的不同气体及其浓度提供优异的选择性。因此,最终的气体分析基于使用宽广的波长范围收集的信号。

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)。我们专门针对 Optimus™ DGA 监测系统对这些元件进行设计和优化,并且在我们自有的洁净室中制造这些元件。为了进一步提高可靠性,光学测量模块不含移动部件。

### 消除漂移

尽管在采用基于 IR 的分析时,故障气体的吸收特性不会随着时间而变化,但测量信号仍有可能受到其他因素的影响。因此,DGA 监测系统应补偿或消除此类漂移影响。

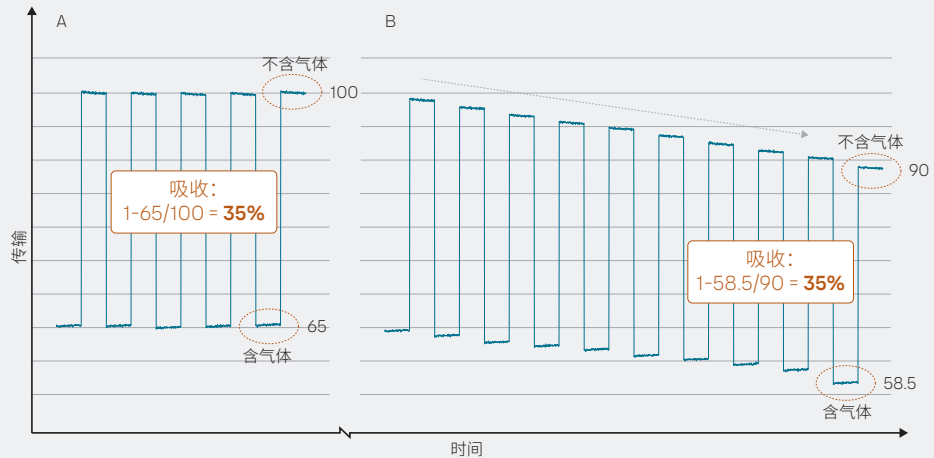
IR 技术中典型的漂移机制包括传感器部件 (例如光源和检测器) 的污染或老化。DGA 系统应具备针对此类机制进行补偿的途径,以便实现长期稳定的测量。这至关重要,因为气体趋势是揭示变压器状况的最重要的信息来源之一。

维萨拉开发了许多独特方法,可以克服漂移并确保稳定的测量值,而无需进行重新校准。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,以便使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。此外,使用完全密封的机械结构避免了任何外部污染,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 监测系统能够在每个油采样周期中为内部校准创建参考测量值。对预定义波长范围的扫描和测量既会在存在提取气体时进行,也会在光学模块中的气体被清除后的真空环境下进行。后一个过程中的测量值将作为参考值。这两个扫描信号的比率定义实际吸收率,从而定义气体浓度。这使得系统能够补偿光学元件中可能出现的漂移,无论是由于老化还是污染造成的。

**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。

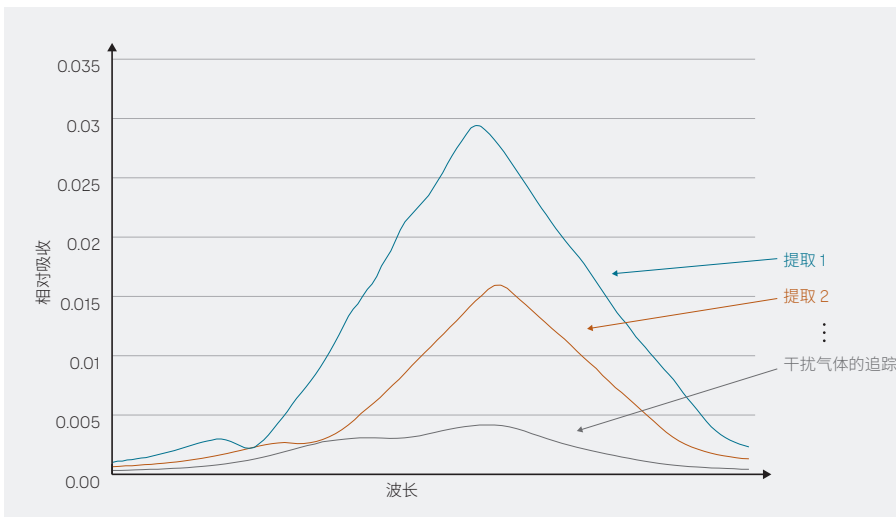


**图 5** 显示了 IR 传输信号的一个示例, 分别展示了存在气体时和真空下(无气体)在稳定测量期间以及光源强度发生 10% 漂移时的情况。

### 油中自动校准 - 确保长期性能并消除漂移

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, 如果不能识别它们并加以补偿, 将会干扰吸收信号, 从而给气体分析带来负面影响。

但与关键故障气体相比, 这些化合物具有不同的物理特性。Optimus™ DGA 监测系统会利用 VOC 和关键故障气体之间的此种物理差异来对 VOC 进行补偿。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。凭借 IR 吸收测量, 我们能够在每个提取步骤中发现干扰气体提取量的降低 (**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。



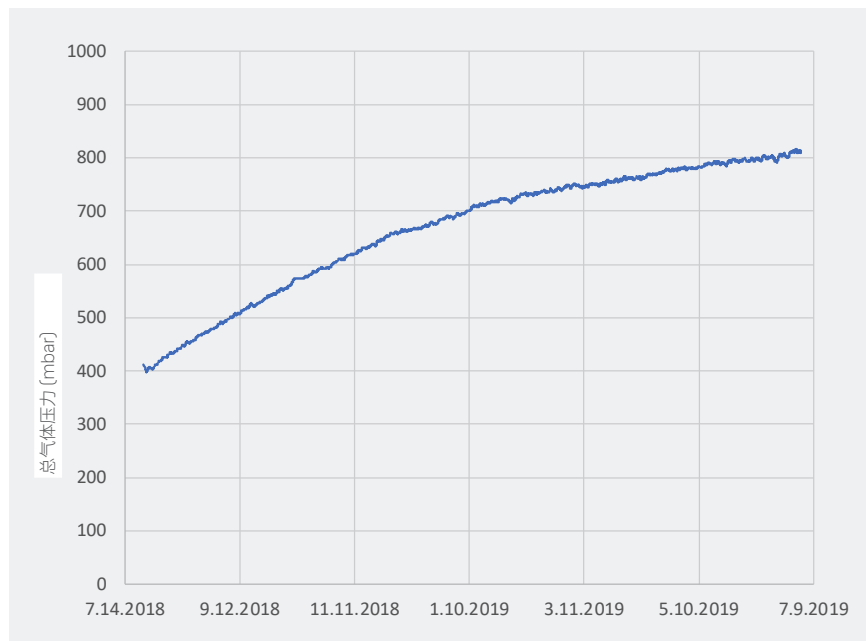
**图 6.** 不同条件下的气体提取降低了吸收扫描中干扰气体的比例。

图 7. 使用维萨拉 OPT100 在线 DGA 监测系统测量的电力变压器绝缘油中的总溶解气体压力。

此功能称作油中自动校准。Optimus™ DGA 会在安装完成后的首个测量周期中运行该自动校准，以便监测系统识别和“了解”油中存在的烃类气体和 VOC 的混合情况。在正常运行过程中，油中自动校准功能会定期运行，大约每月一次。该功能会通过重复运行计算来确保其能够有效地针对油成分的变化进行补偿，从而确保长期性能。

### 总气体压力

由于 OPT100 在线 DGA 监测系统使用部分真空来从变压器油中提取气体，因此其可以通过自身的集成压力传感器对所有溶解气体的总压力进行测量。总气体压力 (TGP) 是溶解在油中的所有气体的分压之和。



压力增加是空气泄漏到密封变压器箱中的早期体现。如果空气泄漏到变压器箱中，测量到的气体中占比最大的将是氮气和氧气。由于这两种气体的溶解度差，因而可以将它们完全从油中提取出来。此外，故障气体占总压力值的比例可以忽略不计。

即使所有氧气都消耗完毕，压力值也会给出可靠的泄漏指示。之所以可以确定泄漏情况，是因为氮气值既不会在变压器中形成，也不会从变压器中消耗，它会随时间推移而增加并占主导地位。

维萨拉 Optimus™ DGA 监测系统可以通过非常简单的方法创造真空环境，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一般监测系统，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。

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。

凭借这些优势和油中自动校准功能，Optimus™ DGA 监测系统可确保长期准确、可靠和免维护运行。

# VAISALA



联系我们 | 维萨拉 (Vaisala)  
[www.vaisala.cn/zh/lp/contact-form](http://www.vaisala.cn/zh/lp/contact-form)

参考编号 B211813CN-D ©Vaisala 2024

本资料受版权保护，所有版权为维萨拉及其各个合作伙伴所有。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。