



DGA 监测系统

- 免维护操作，无需耗材
- 直观的用户体验
- 智能分析工具
- 利用真空气体提取进行油采样
- 通过自动校准和红外参考测量实现长期测量稳定性
- 无需氧气传感器即可借助总气体压力检测漏气
- 坚固的机械机构
- 易于安装
- 在维萨拉洁净室制造
- 可选 O₂ 和 N₂ 测量

维萨拉 OPT100 Optimus™ DGA 监测系统是在恶劣环境下保护关键变压器的解决方案。它提供开箱即用的性能、可消除误报警，并为您长期提供故障气体的稳定测量值。

防止发生变压器故障

超过 50% 的严重电力变压器故障都可以使用适当的在线监测工具检测到，便于您提前采取应对措施。维萨拉 OPT100 Optimus DGA 监测系统功能强大且直观，可实现实时、无故障的故障气体监测。Optimus 是数十年经验和广泛研究的结晶，并且以客户需求为基础。它具有较高的安全性和可靠性，适用于要求严苛的运行环境。

直观且智能的设计

借助基于 Web 的用户界面，用户不再需要使用其他软件。Optimus 可以通过数字通信和继电器连接到现有的控制和监控系统，或用作独立的监控设备。如

果出现断电等干扰情况，自我诊断功能可支持自行恢复。Optimus 可在 2 小时内安装好：连接油路、电源和数据——即告完成。

数据可靠 - 零误报

得益于自动校准和红外参考测量，Optimus 可以始终提供可靠的气体趋势数据。真空气体提取可消除油温或油压导致的数据波动，而密封和有防护的光学器件可防止传感器被污染。我们的电容式薄膜聚合物 HUMICAP 传感器和固态传感器可以直接测量油中的水分和

氢气。红外传感器的制造基于维萨拉核心测量技术以及我们自己的洁净室生产的组件。利用数据，您可以做出关键运营决策。

可靠的构造

从北极圈到热带地区，凭借其不锈钢管道、IP66 防护等级外壳以及磁力驱动齿轮泵和阀门，为监测系统带来良好的性能和耐用性。Optimus 没有耗材，无需日常维护或更换。



气中的主要成分并且不会在变压器的内部反应中形成或消耗，因此溶解气体的气压趋势能够可靠地反映泄漏情况。通过可选的氧气传感器，Optimus DGA 监测系统还可以检测变压器中是否存在消耗氧气的异常氧化活性。

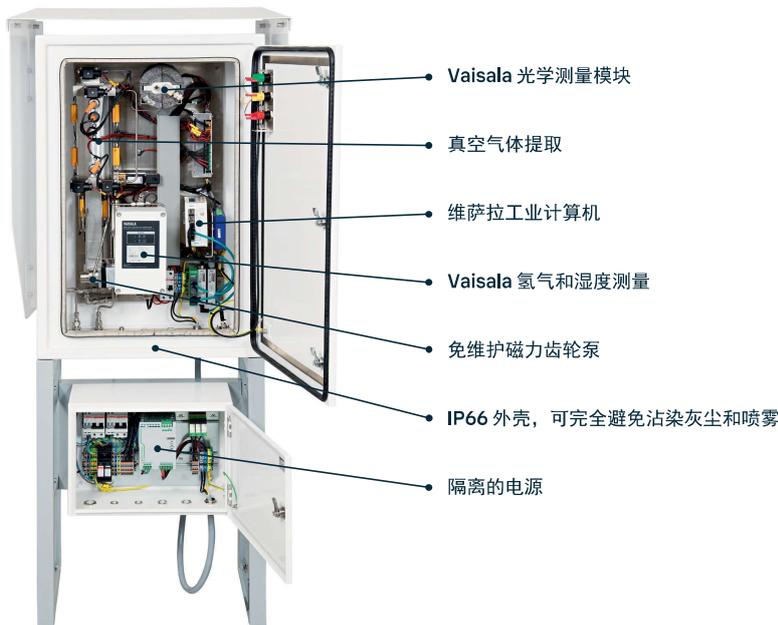
使用杜瓦尔三角形进行 DGA 诊断

该方法是在市场上销售的常用溶解气体分析方法，用于变压器故障诊断目的（杜瓦尔三角形（IEC 60599，附录 B），作为可选功能提供。用户界面显示在杜瓦尔三角形上叠加的去年的一系列数据点。

使用总气体压力检测空气泄漏

氧气会加速变压器的老化，可能会缩短其使用寿命。Optimus DGA 监测系统无需氧气传感器即可对油样中溶解气体的总压力进行测量，并对密封变压器中

的多种空气泄漏进行检测。如果空气泄漏到变压器箱中，溶解气体中的主要成分将是氮气和氧气，故障气体在压力值中的占比可以忽略不计。由于氮气是空



技术数据

测量规范

参数	范围	准确度	可重复性
甲烷 (CH ₄)	0–10 000 ppm	±4 ppm 或读数的 ±5 %	10 ppm 或读数的 5 %
乙烷 (C ₂ H ₆)	0–10 000 ppm	±10 ppm 或读数的 ±5 %	10 ppm 或读数的 5 %
乙烯 (C ₂ H ₄)	0–10 000 ppm	±4 ppm 或读数的 ±5 %	10 ppm 或读数的 5 %
乙炔 (C ₂ H ₂)	0–5000 ppm	±0.5 ppm 或读数的 ±5 %	1 ppm 或读数的 5 %
一氧化碳 (CO)	0–10 000 ppm	±4 ppm 或读数的 ±5 %	10 ppm 或读数的 5 %
二氧化碳 (CO ₂)	0–10 000 ppm	±4 ppm 或读数的 ±5 %	10 ppm 或读数的 5 %
氢气 (H ₂)	0–5000 ppm	±15 ppm 或读数的 ±10 %	15 ppm 或读数的 10 %
湿度 (H ₂ O)	0–100 ppm	±2 ppm 或读数的 ±10 %	包含在准确度中
氧气 (O ₂)	0–50 000 ppm	±200 ppm 或读数的 ±10 %	包含在准确度中
氮气 (N ₂)	0–150 000 ppm	±5000 ppm 或读数的 ±15 %	包含在准确度中
总气体压力	0–2000 hPa	±10 hPa 或 ±2 % 的读数	10 hPa 或 5 % 的读数

测量操作

测量周期时长	1–1.5 h (典型)
故障气体响应时间 (T63)	一个测量周期
第一个测量数据可用前为预热时间	两个测量周期
达到完全准确度前的初始化时间	两天
数据存储	至少 10 年
预期运行寿命	> 15 年

现场性能

参数	与实验室 DGA 的典型方差
乙炔 (C ₂ H ₂)	±1 ppm 或读数的 ±10 %
氢气 (H ₂)	±15 ppm 或读数的 ±15 %
其他气体 (CH ₄ 、C ₂ H ₆ 、C ₂ H ₄ 、CO、CO ₂)	±10 ppm 或读数的 ±10 %
水 (H ₂ O)	±2 ppm 或读数的 ±10 %

计算参数

总溶解易燃气体 (TDCG)	H ₂ 、CO、CH ₄ 、C ₂ H ₆ 、C ₂ H ₄ 和 C ₂ H ₂ 的总合计
24 h 平均值	适用于单组分气体、水分、TDCG 和总气体压力
变化率 (ROC)	适用于单组分气体和 TDCG 在 24 小时、7 天和 30 天期间的变化率 可用比： <ul style="list-style-type: none">· CH₄/H₂· C₂H₆/C₂H₄· C₂H₄/CH₄· C₂H₂/C₂H₄· C₂H₂/C₂H₆· CO₂/CO· O₂/N₂

电源

工作电压	OPTPSU1: 100–240 V AC, 50–60 Hz, ±10 % OPTPSU2: 110–220 V DC, ±10 %
过压类别	III
最大功率	500 W
+25 °C 下的典型功耗	100 W

输出

RS-485 接口	
支持协议	Modbus RTU 协议、DNP3 通讯协议 (可选功能)
电流隔离	2 kV RMS, 1 min
以太网接口	
支持协议	Modbus TCP 协议、超文本传输协议 (HTTP)、安全超文本传输协议 (HTTPS)、DNP3 通讯协议 (可选功能)、IEC 61850 协议 (可选功能)
电流隔离	4 kV AC (50 Hz, 1 min)
继电器输出	
继电器数量	3 个, 用户可选常开 (NO) 或常闭 (NC)
触发类型	气体警报 (用户可选择限值)
最大切换电流	6 A (在 250 V AC 条件下) 2 A (在 24 V DC 条件下) 0.2 A (在 250 V DC 条件下)
辅助设备接口	
最大功率	48 W
电压输出	24 V DC
用户界面	
接口类型	基于 Web 的用户界面, 可通过标准 Web 浏览器操作

机械规格

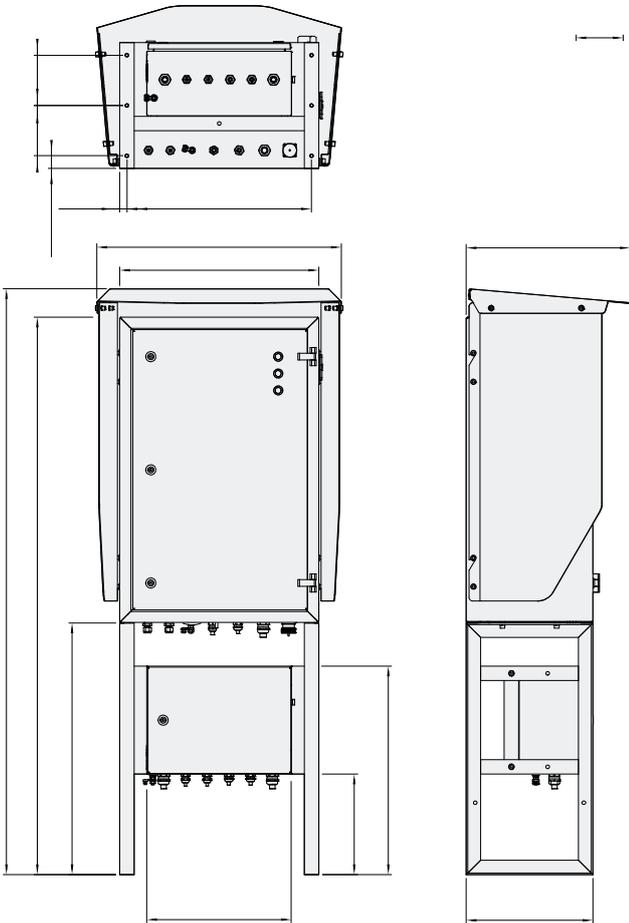
油路连接	对于 10 mm 外径管, 使用不锈钢 Swagelok 接头。
连接到矿物油变压器的长度油管上限	最长 10 m, 用于 7 mm 内径管 最长 5 m, 用于 4 mm 内径管
连接到酯类液体变压器的油管长度上限	最长 10 m, 用于 8 mm 内径管
外壳材质	船用铝 (EN AW-5754) (DGA 监测系统), 不锈钢 AISI 316 (OPTPSU)
安装选项	地面安装套件、墙面安装套件、防震墙面安装套件

操作环境

变压器液体类型	矿物油或酯类液体
要求绝缘液具备的最低燃点	+125 °C
油液入口的变压器油压	最大 2 bar (绝对) 连续 爆破压力 20 bar (绝对)
油入口的变压器绝缘液温度	最高 +100 °C 酯类液体最低 +0 °C 矿物油的最低温度取决于矿物油的倾点。
环境湿度范围	0-100 %RH, 冷凝
工作时的环境温度范围	-40 ... +55 °C
贮藏温度范围	-40 ... +60 °C
IP 防护等级	IP66

合规性

欧盟指令和法规	EMC 指令 (2014/30/EU) 低电压指令 (2014/35/EU) OPT100 旨在安装于不属于 RoHS 指令 (2011/65/EU) 范围的另一种设备中。
EMC 抗扰度	EN 61326-1, 工业环境 IEC 61000-6-5, 4 类
EMC 辐射	FCC 47 CFR 15, 第 15.107 条, A 类 ISED ICES-003, 第 5(a)(i) 条, A 类
安全性	IEC/EN/UL/CSA-C22.2 61010-1
环境	IEC 60068-2-1 IEC 60068-2-2 ISO 6270-1:2017, 恒湿冷凝大气, C5 ISO 9227:2017, 盐雾, C5 IEC 61010-1:2010/AMD1:2016, 污染程度 4 (室外)、3 (工业区)、2 (设备内部)
	CE, China RoHS, EAC, RCM



带地面安装套件尺寸

VAISALA

维萨拉出版 | B211583ZH-P © 维萨拉 2025

保留所有权利。所有徽标和/或产品名称均为 Vaisala 或其单独合作伙伴的商标。严格禁止对本文档中包含的任何复制、转让、分发或存储。所有规格 (包括技术规格) 如有变更, 恕不另行通知。

VAISALA



OptimusTM OPT100

在线 DGA 监测系统 — 智能设计

是什么让 OPT100 与当今市场上的其他产品真正不同？



当我们说无需维护时,我们的意思就是**无需维护**。在 15 年以上的使用寿命内,无需更换任何消耗品、服务或零件。就这么简单。下面就来说明 Optimus 是如何做到的。

在设计 OPT100 时,我们取消了气瓶、滤光轮和其他消耗品。Optimus 为行业带来真正的、始终在线的监测。因此,您不仅可以看到采样型式抽检能够呈现的内容,还可以发现趋势和气体处理模式。

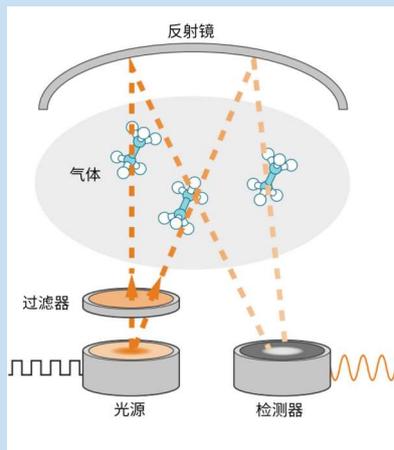
无需维护,零消耗品。

NDIR 红外——在线 DGA 解决方案

光学测量技术本质上仅需几个非移动部件。这会带来多重好处:更简单、更稳健的设计;尽可能少量的组件;重要的是,没有零件会发生磨损或需要更换。就是这样。

解决总体拥有成本难题

在线 DGA 监测的真实成本来自于解决方案所需的维护量。对于像 OPT100 这样的真正的红外设备,因为没有什么需要替换或更改的零件,随着时间的推移,其成本可以忽略不计。



直观易用

两小时内即可安装

Optimus 的安装只需不到两个小时。无需制造商认证的技术人员来安装和编程该设备,也不需要几天后再回来进行额外的编程。

基于网络的用户界面将指导您逐步完成简化的过程。一旦完成,您就可以离开,让 Optimus 完成其余的工作。



强大的用户界面

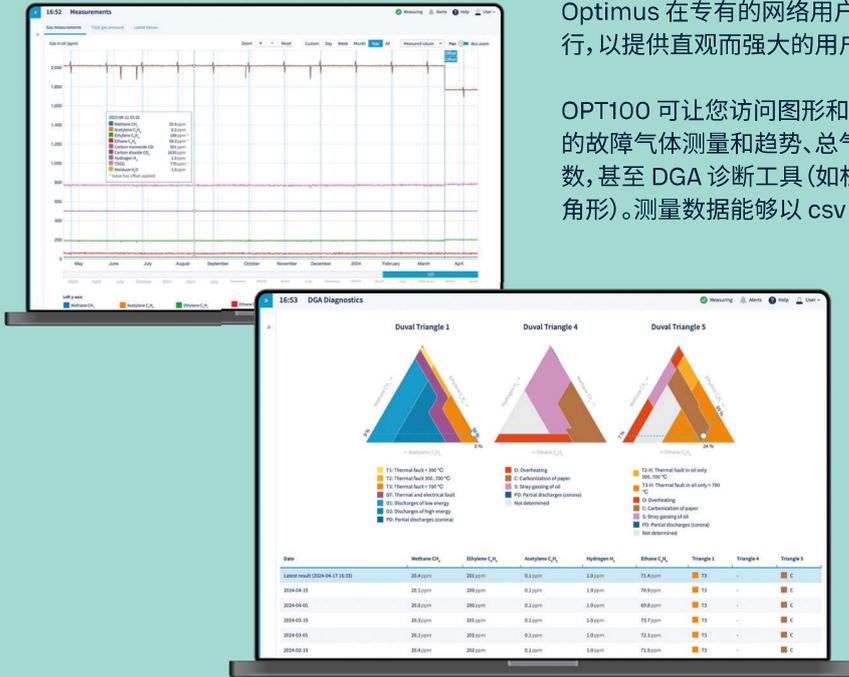
Optimus 在专用的网络用户界面上运行，以提供直观而强大的用户体验。

OPT100 可让您访问图形和数字格式的故障气体测量和趋势、总气体压力读数，甚至 DGA 诊断工具 (如杜瓦尔三角形)。测量数据能够以 csv 格式快速

导出以供进一步分析，并且可以直接从界面设置和自定义警报和警报级别。而且，不需要安装任何客户端软件。

自我诊断功能可确保您的监测系统始终正常工作

Optimus 的智能自我诊断功能在监测系统开启时启动，并在断电时自动生效。这确保您不仅始终了解变压器的运行情况，而且还了解监测系统的运行情况。



整体采用智能且 坚固的设计



坚固的机械结构带来更长的使用寿命

Optimus 的每一个组件都经过精心设计和精心挑选,只因我们秉承这样一个目标——成为坚固、使用寿命长的 DGA。

只有高质量的零件才能符合我们严格的测试和资格标准,例如**磁力泵、不锈钢管道**和**高质量阀门**。其红外测量单元是密封的,以防止光学元件受到污染。

监测系统安装在 IP66 级外壳内,以达到良好的防尘防水效果——并且可以使用三种不同的选项进行安装:地面支架、固定墙面安装或减震墙面安装。

Optimus 运行时自然凉爽,设计上无需冷却风扇。换句话说,另一个典型的 DGA 监测系统故障点已被完全消除。

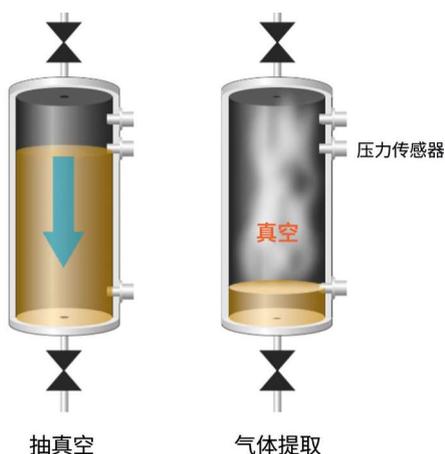
所有 9 种气体,从所有酯类液体和矿物油中测量

Optimus 不仅完全符合矿物油标准,也符合合成酯和天然酯标准。此外,可选的 O₂ + N₂ 测量,通过维萨拉的总气体压力方法得以增强,为您提供可靠的泄漏检测。

真空气体提取

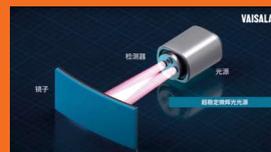
良好的气体分析始于真空气体提取,而不是行业标准的顶部空间法,从而确保获得好的气体样本。

高达提取气体的 95 %



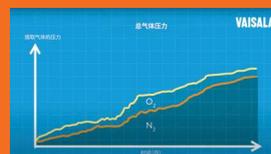
红外参考测量消除漂移

通过在每个测量周期内测量红外信号的实际强度,可以消除监测系统本身引起漂移的因素。完全消除这种漂移还可消除昂贵的误报和不必要的变压器维护。



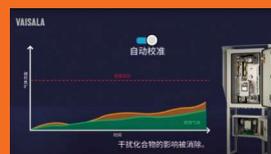
总气体压力能够可靠地检测出空气和氧气泄漏

即使发生了耗氧反应, TGP 也能可靠地检测到氧气进入密封变压器的情况。这可以充分延长变压器的使用寿命。



自动校准可消除绝缘液体老化的影响

当变压器的绝缘液体老化时,会形成挥发性化合物,这可能会对实际故障气体造成干扰。自动校准可检测并消除它们的影响,确保您的 DGA 结果始终可靠。



VAISALA



维萨拉——85 年来深耕高要求测量领域

1936年
成立于
赫尔辛基



2,300 名
科技专家

目前在
两颗行星上运行

在我们自己的洁净室中设计和制造的传感器

四分之

一的员工从事
研发工作



参考编号 B211715ZH-G
© Vaisala 2025

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)。

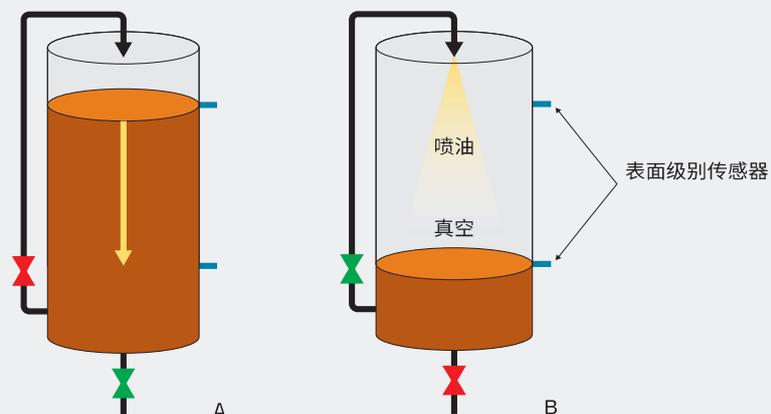
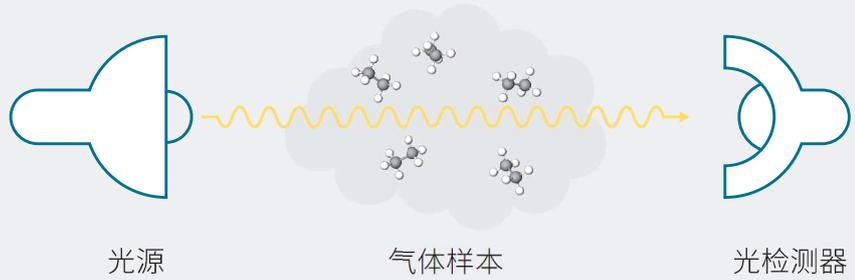


图 2. 由转移到激发状态的分子导致的红外光吸收的示意图。



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、CO₂、乙炔、乙烯、乙烷和甲烷气体的红外光吸收谱带。

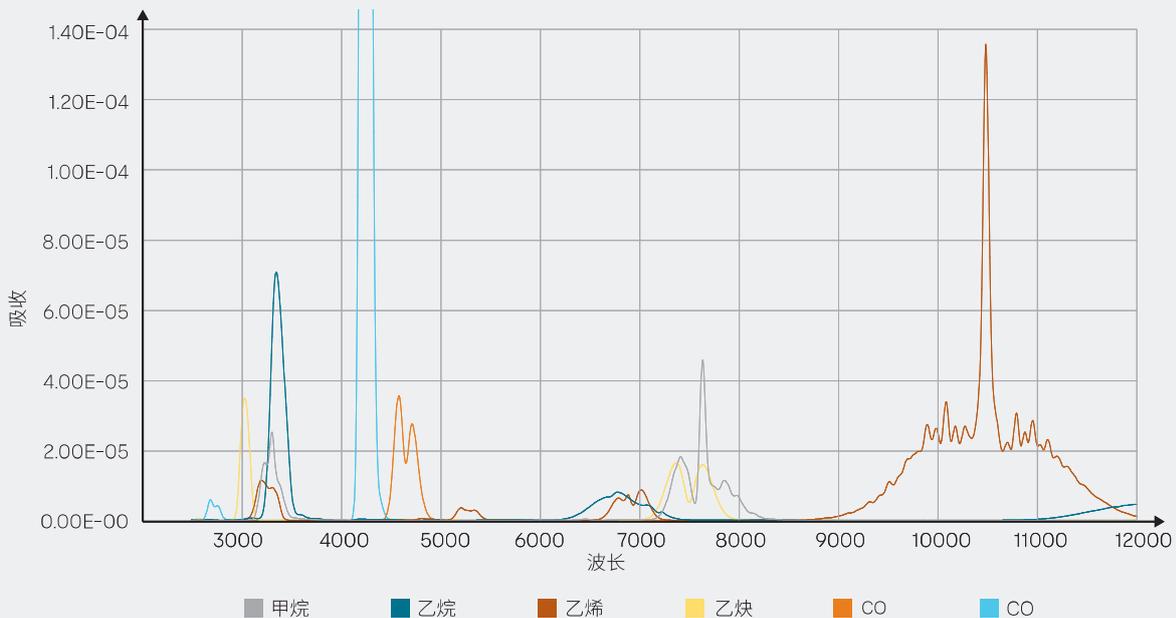
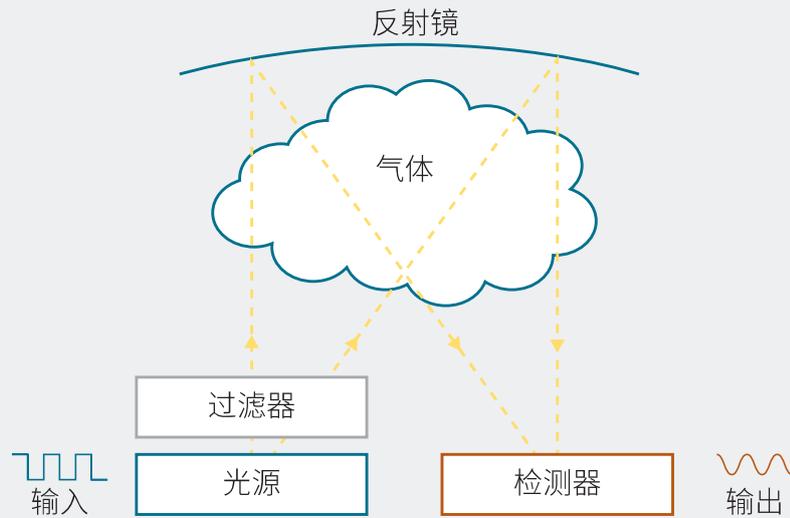


图 4. Optimus™ DGA 监测系统 IR 模块的示意图。



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。

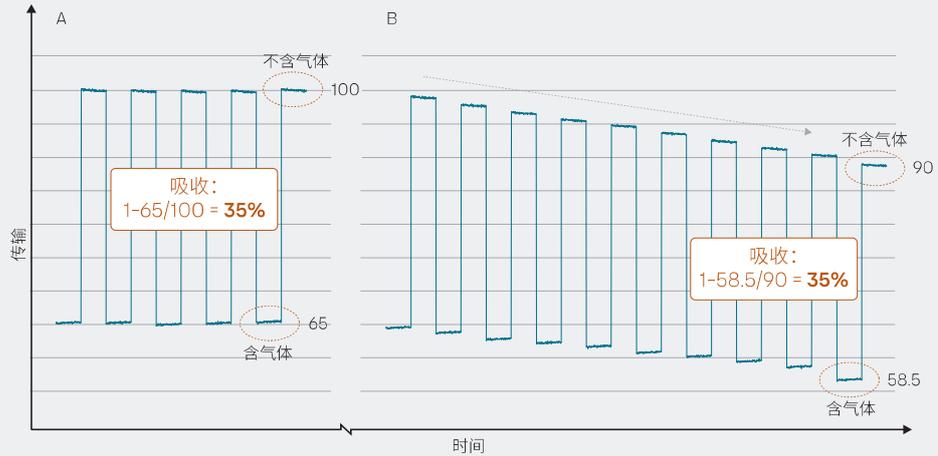


图 5 显示了 IR 传输信号的一个示例, 分别展示了存在气体时和真空下(无气体)在稳定测量期间以及光源强度发生 10% 漂移时的情况。

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。

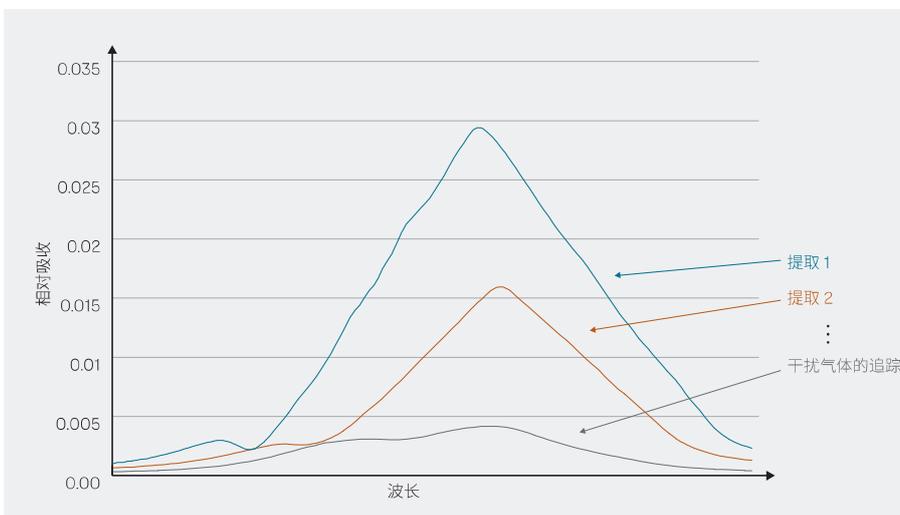


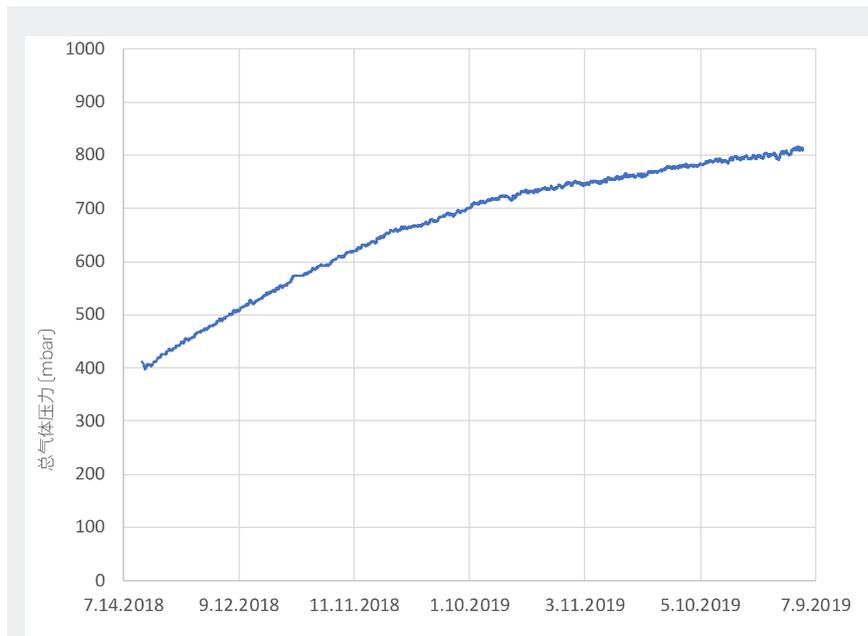
图 6. 不同条件下的气体提取降低了吸收扫描中干扰气体的比例。

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

参考编号 B211813CN-D ©Vaisala 2024

联系我们 | 维萨拉 (Vaisala)