



innovative
Sensor
Technology

physical · chemical · biological



油中水分传感器

白皮书

油是许多工业设备和机器的命脉，它应用于冷却、润滑、绝缘以及动力传输。

为了使齿轮箱、变压器或工业设备能够长期安全且稳定地运行，建议借助过程传感器技术来监测润滑剂的状态。

随着时间推移，每种油都会因化学和物理老化而发生变化，因为添加剂会降解，杂质会不断积累。油的吸水能力会受到影响，其润滑能力和绝缘强度也会降低。如果不加以控制，在油液状态不合适且含水量过高的情况下运行机器，可能会导致机器停机以及高昂的维修费用。

对油中水分进行持续监测，是经济地开展预防性维护工作以及（或者）在被监测系统内触发自动应对措施的关键所在。



目录

- 1.0 动机
- 2.0 技术
- 3.0 测量结果
- 4.0 概览

1.0 动机

持续监测是延长设备使用寿命的关键的第一步。例如，变压器需要在极端天气条件下安全可靠地运行。海上基础设施，如风力涡轮机、石油钻井平台和货船，是安装和维护成本高昂的机器的典型例子。

此外，重型车辆的液压系统和动力传输系统需符合较高的可靠性标准。

采用油浸式冷却的电池组热管理是另一个新兴的应用实例。

优质的润滑油状态对于这些复杂机器的平稳运行至关重要。偶尔进行的实验室检查可以升级为连续的过程监测。再结合内置或移动式过滤及除湿装置，这些措施可确保实现最高效率。

可以在任何故障或效率损失发生之前安排维护工作，从而使维护成本保持在经济合理的水平。

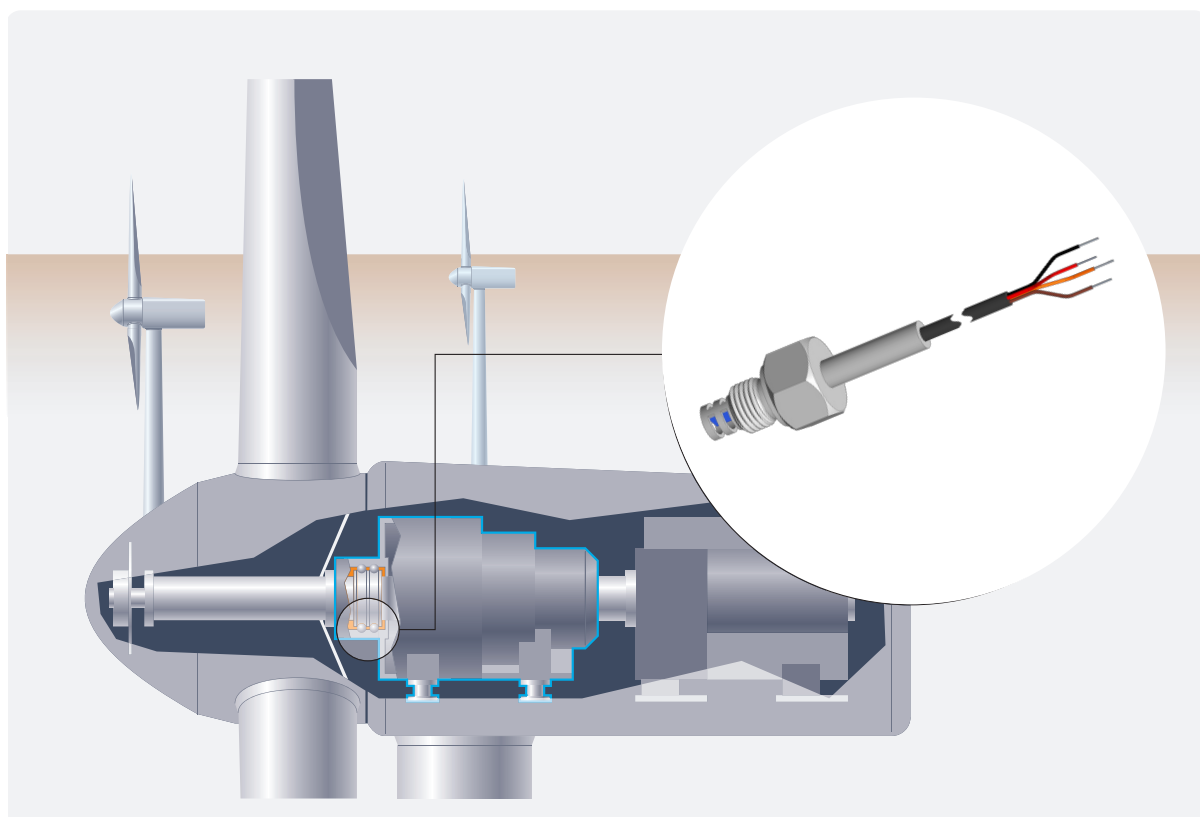
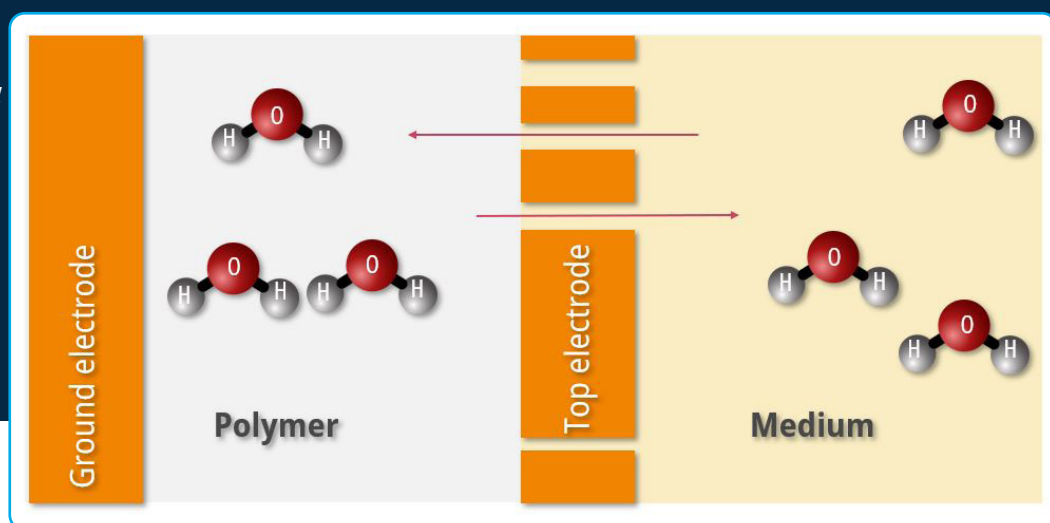


图 1: 风力涡轮机的应用实例以及安装在齿轮箱中的湿度传感器。
(来源: © IST AG, 2024)

图2:
电容式湿度传感器元件的测量原理:
由浓度梯度驱动的水分子在聚合物层
内外的扩散, 会影响传感器的电容。



2.0 技术

电容式湿度传感器在空气监测系统中很常见。传感器的聚合物层通过多孔顶部电极与周围空气接触。水能够从周围空气中通过电极的孔隙扩散进入聚合物层, 反之亦然, 直至达到平衡状态 (见图 2)。

与聚合物结合的水量会影响传感器的电容, 而电容正是被测量的变量。

在油中, 其测量原理依然相同。湿度会从油中扩散进入聚合物层, 然后再扩散回去。在油中, 由于高温以及存在与潜在腐蚀性化学物质发生相互作用的

风险, 工作条件更为恶劣。

iST 公司的 MK33 传感器元件特别适合于油中水分的监测。由于商业油品中存在未标明的添加剂, 强烈建议评估湿度传感器与特定油品之间的兼容性。

对传感器的电容原始信号进行线性化处理 and 转换, 需要针对相对湿度和温度进行精确校准。

iST 公司针对 HYT 模块的校准程序是特定于应用的, 并且能在对过程控制至关重要的运行条件下实现最高精度。

对于在油中的应用, 这通常涉及到高温和高相对湿度的环境条件。

传统上, 油中的水分是通过应用实验室分析的离线方式来进行监测的。卡尔·费休滴定法被视为参考分析方法。在卡尔·费休滴定过程中, 样品中的绝对水含量得以确定。其背后的化学反应如下:



水的总含量由游离水、可逆结合水以溶解水组成。

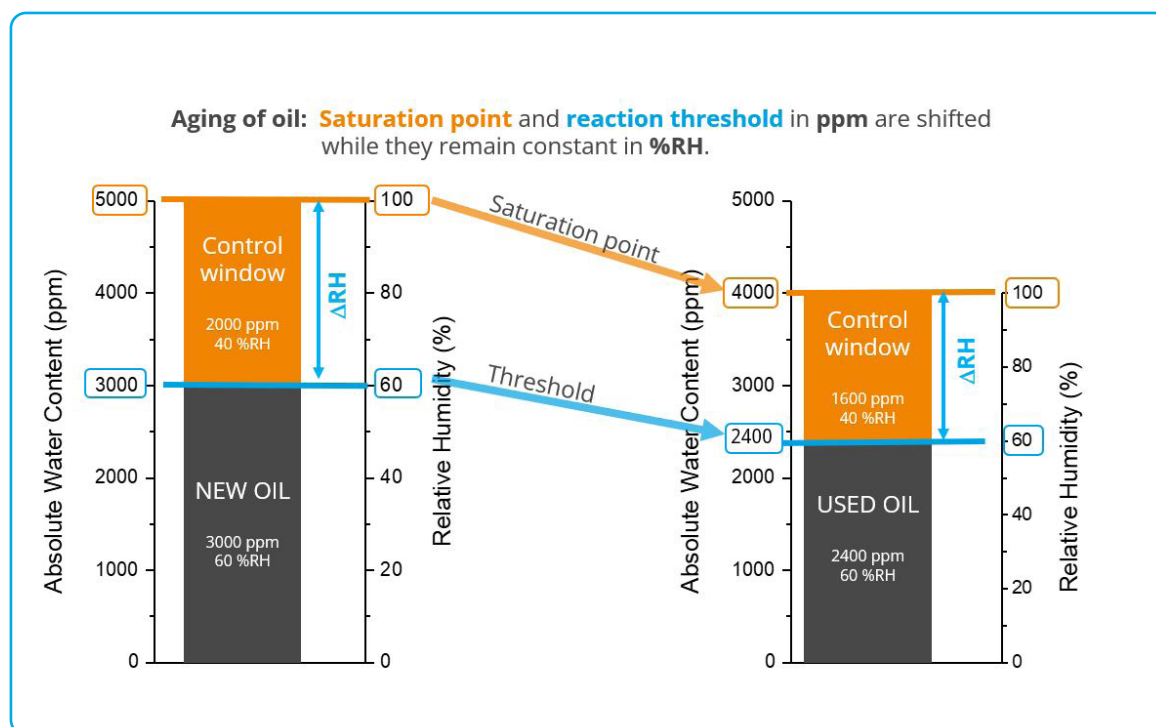


图3:
用于过程控制的控制
窗口，以相对湿度百
分比 (% RH) 表示
(对应于水活度 a_w)

注意：所显示的反应
阈值和绝对含水量数
值仅是为了说明目的
而随机选取的。

卡尔费休滴定法得出的结果不考虑油品老化和添加剂耗尽导致的水溶性变化，因为它给出的是以 ppm 为单位的绝对含水量。实验室分析也不考虑操作条件。尤其是温度对水在油中的溶解度影响很大。对实验室结果的解释依赖于对特定油样的详细了解。像卡尔-费休滴定法那样以 ppm 为单位测定绝对含水量，与以 %RH 为单位测定相对湿度（与油中水分饱和度相对应）相比有几个缺点。

一方面，油中的水分饱和度会随着温度的变化而变化（例如昼夜循环）。即使总含水量 ppm 不变，也会出现这种情况。阈值和实际饱和度与游离水之间有可能不匹配。另一方面，随着油的老化，溶解水的能力也会发生变化，因此需要调整以 ppm 为单位的阈值，以避免出现游离水（见图 3）。

在此示例中，60 %RH 的含水量相当于新油中的 3000 ppm。随着时间的推移，油会逐渐老化，饱和点会从 5000 ppm 变为 4000 ppm。相对湿度 (%RH) 会考虑溶解度的这种变化，而绝对湿度 (ppm) 则不会。对于老化的油品，60 %RH 的阈值仅相当于 2400 ppm。

如果系统在 60 %RH 的阈值下运行，由于考虑到了油品的当前状态，因此在出现临界水量之前就会向操作员发出警告。如果使用 3000 ppm 的阈值，老化会降低油品修复的安全系数。

机油的材料数据表包含装运时的最大水活度 (a_w)。该值相当于以饱和度比率表示的溶解水含量。电容式湿度传感器测量的相对湿度以百分比的形式表示相同的信息。

电容式湿度传感器以 %RH 为单位显示湿度含量，在过程控制中可替代滴定法，具有以下优点：

- 可进行连续的过程测量
- 易于理解且能即时解读，同时考虑到了油的实际状况
- 所有测量点都与温度相关联，能够评估溶解度的变化，例如随着昼夜循环而产生的变化

3.0 测量结果

要使溶解的水在一定体积的液态油中均匀分布从而达到物理平衡是需要时间的（见图 4）。水在油中的溶解过程在较高温度下以及通过有效的高速搅拌会加快。样品的均匀性始终是获得可靠数据读数的限制因素。湿度传感器对其周围环境的响应速度要快得多。

有意地根据流体动力学原理来确定传感器的位置，对于构建有效的过程控制装置有着重要意义。

长期测量结果显示了我们的传感器在酯类油样品和矿物油样品中的稳定性（见图 5 和图 6）。

这些测量是在室温下进行的，且暴露于环境空气中，没有受到机械应力的影响。测量过程中观察到了环境湿度和温度波动所产生的影响。变压器中的空气交换，也就是所谓的“呼吸”现象，对油中水分的循环也有着类似的影响。

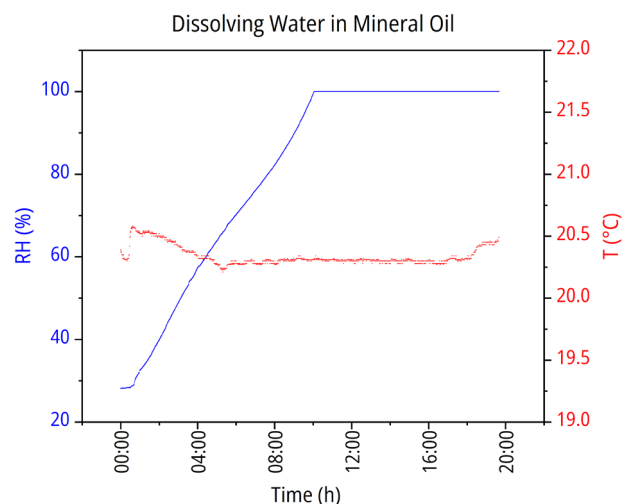


图4: 水在油中缓慢的溶解过程可以通过在向油样中加入足够的水使其达到饱和后监测油中的水分来证明。在持续搅拌（300 rpm）的情况下，将水一次性加入到初始相对湿度为 30% 的矿物油样品中。

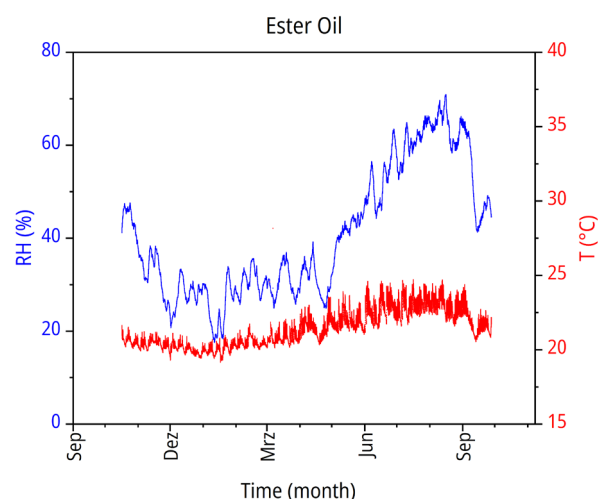


图5: 在酯类油中进行的长期测量。湿度和温度的波动是由实验室中不断变化的环境条件所引起的。

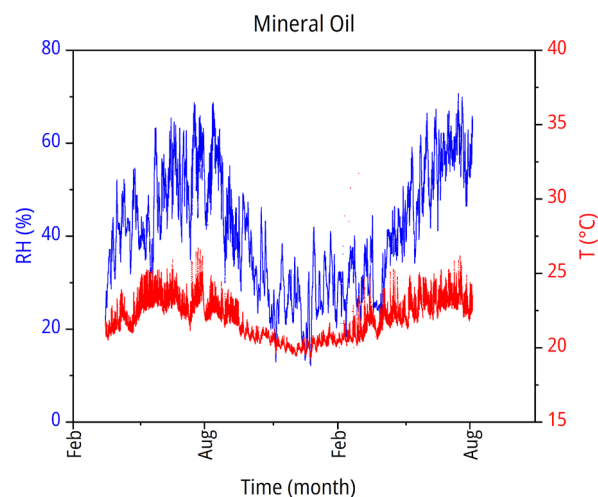


图 6: 在矿物油中进行的长期测量。湿度和温度的波动是由实验室里不断变化的环境条件所导致的。

Innovative Sensor Technology IST AG

您在物理、化学及生物传感器领域的合作伙伴与制造商

凭借超过 30 年的经验，创新传感器技术公司（Innovative Sensor Technology IST AG）是世界领先的物理、化学和生物传感器制造商之一。

我们专注于温度传感器、热式质量流量传感器及模块、湿度传感器及模块、电导率传感器和生物传感器的研发与制造。除了我们的标准产品外，我们还可根据客户特定的应用需求对传感器进行定制适配——甚至可以开展新技术的联合研发。

iST 的传感器以其在各种测量条件下的高精度和一致性为特点。它们被应用于各行各业众多应用场景的测量和监测仪器中。凭借我们先进的生产设施，我们能够承接从小批量订单到全自动化大批量生产等不同规模的生产任务。

iST 是恩德斯豪斯集团（Endress+Hauser Group）旗下的一家公司，总部位于瑞士赖纳赫。恩德斯豪斯是工业过程工程领域测量仪器、服务及解决方案方面的全球领先企业之一。



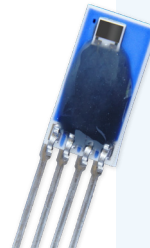
产品



Product code
150138

MK33-W mini

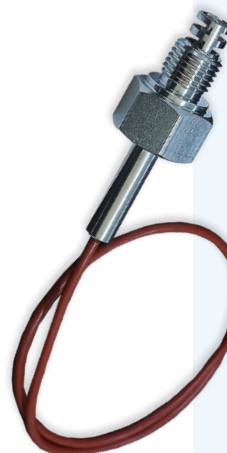
用于在油以及极端环境中的测量



Product code
153382

HYT 271 Module

用于恶劣条件的 RH/T 模块，采用数字 I2C 接口，工厂校准。



Product code
155958

Moisture in oil sensor 155958

即插即用式插入探头

作者

Franziska Rahn

iST公司研发
湿度技术团队负责人

