



国家电网  
STATE GRID

南瑞集团公司(国网电力科学研究院)

NARI GROUP CORPORATION / STATE GRID ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE



# 变压器绝缘油在线状态监测系统测试

- 加压试验
- DGA 对比实验



集亿思智慧科技（南京）有限公司

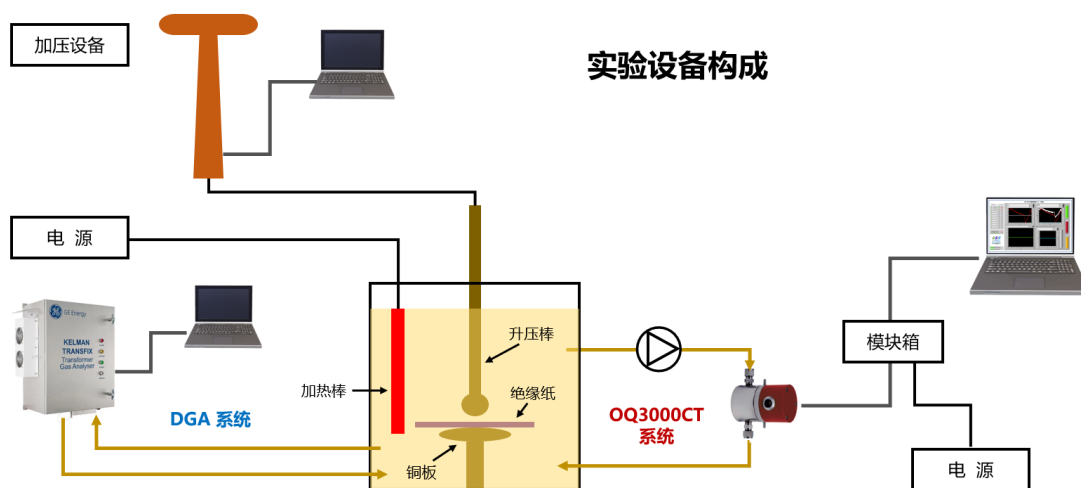
## ● 实验目的

- 1) 通过短时间内对变压器油进行升温、加压条件下，监测局放、介损、电导率、介电常数等关键参数的细微变化。
- 2) 研究探讨创新型变压器绝缘油在线状态监测系统对绝缘劣化、油品状态等早期细微变化征兆直至极限状态击穿全过程中与 DGA 监测系统协同综合监测的可行性。

## ● 主要实验设备

- GES - OQ3000CT 变压器绝缘油在线状态监测系统
- GE - KELMAN DGA 系统

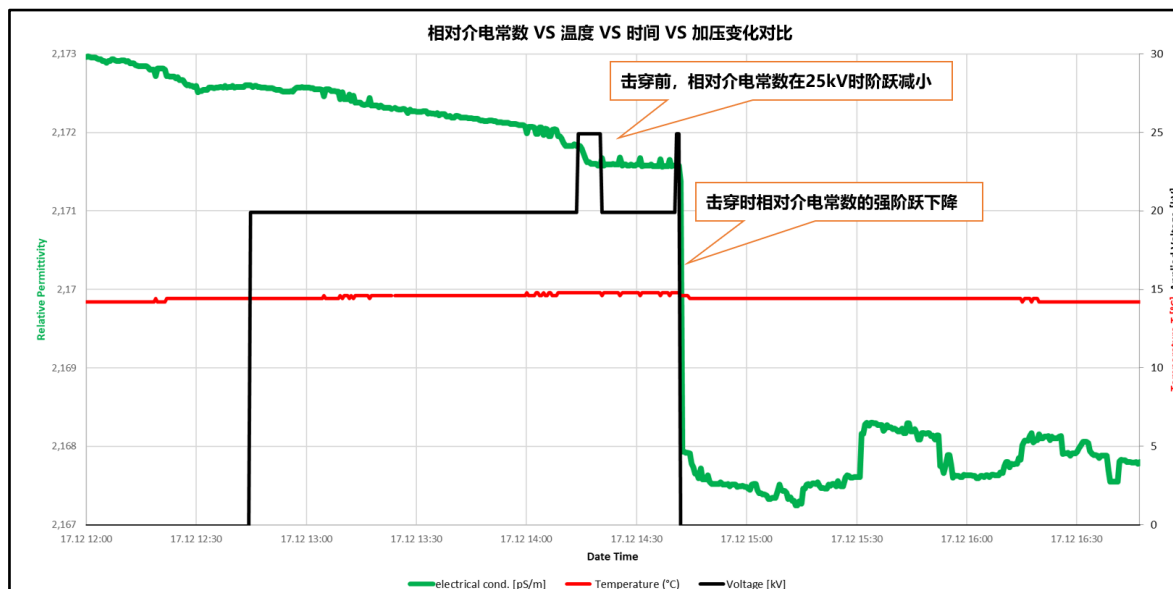
## ● 测试场景搭建

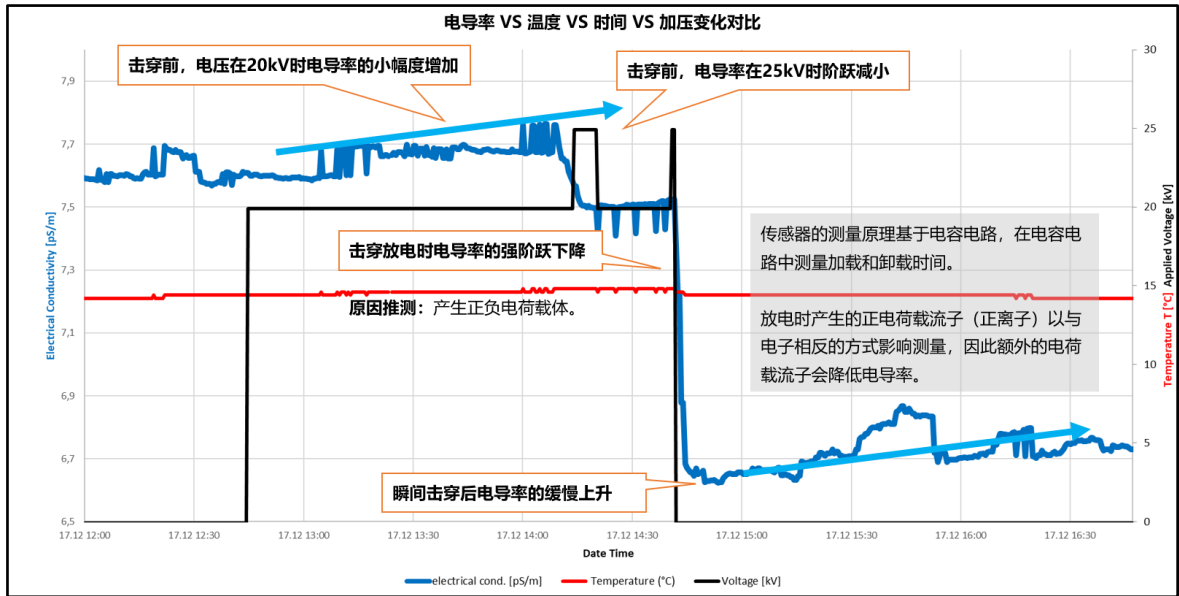


## ● 加压试验

实验时间：2021.12.17~2021.12.20

- 2021.12.17 数据分析

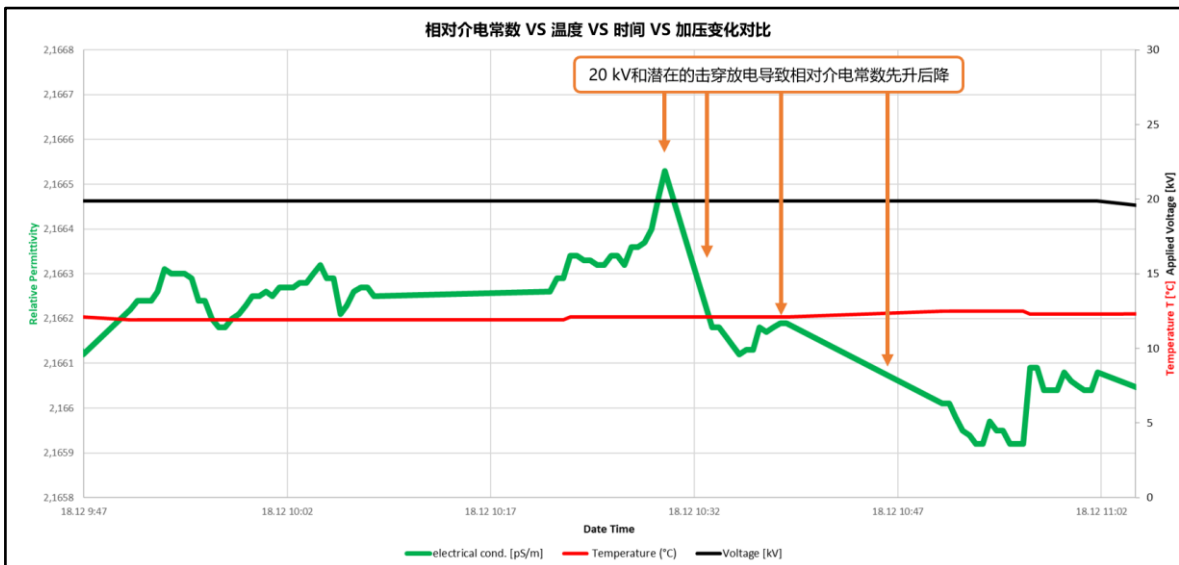
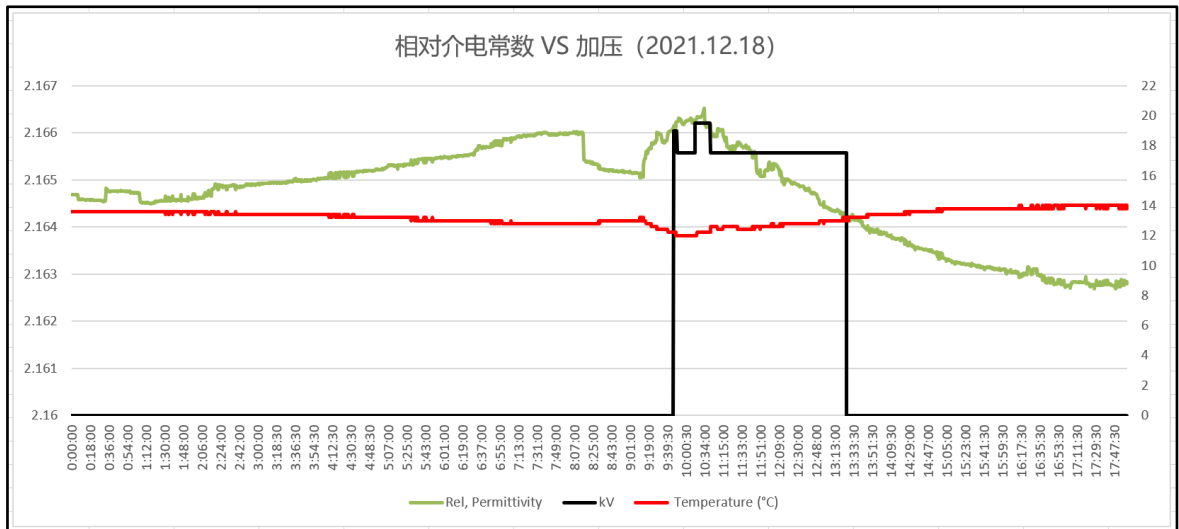


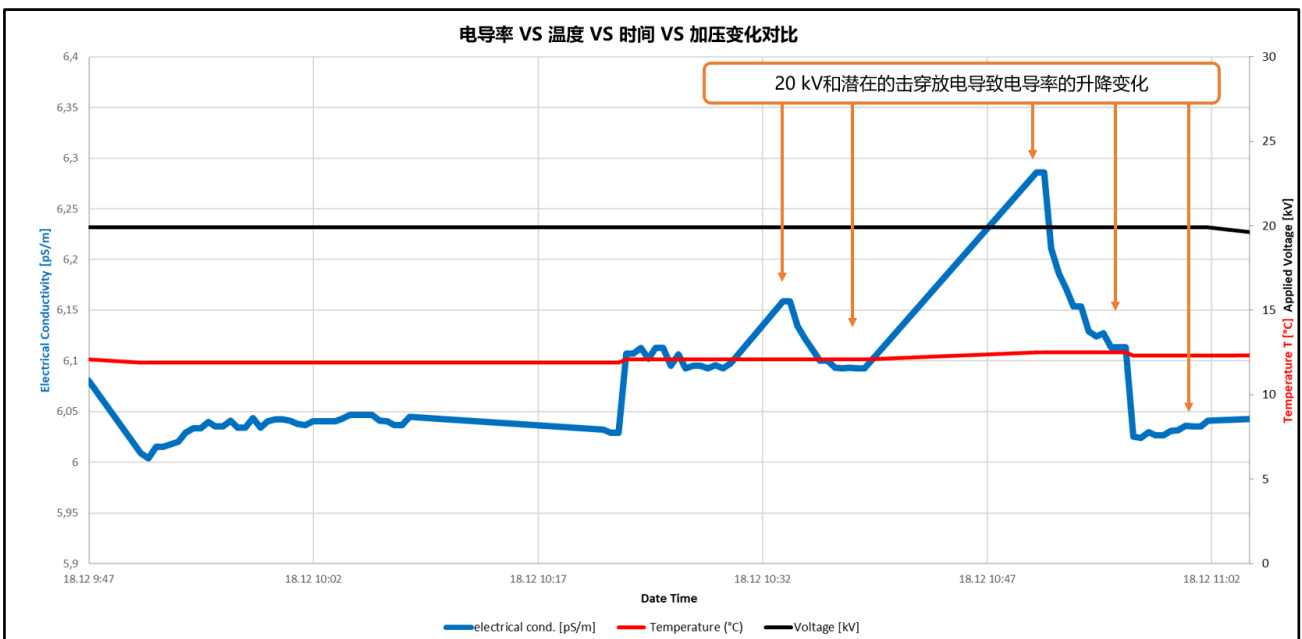
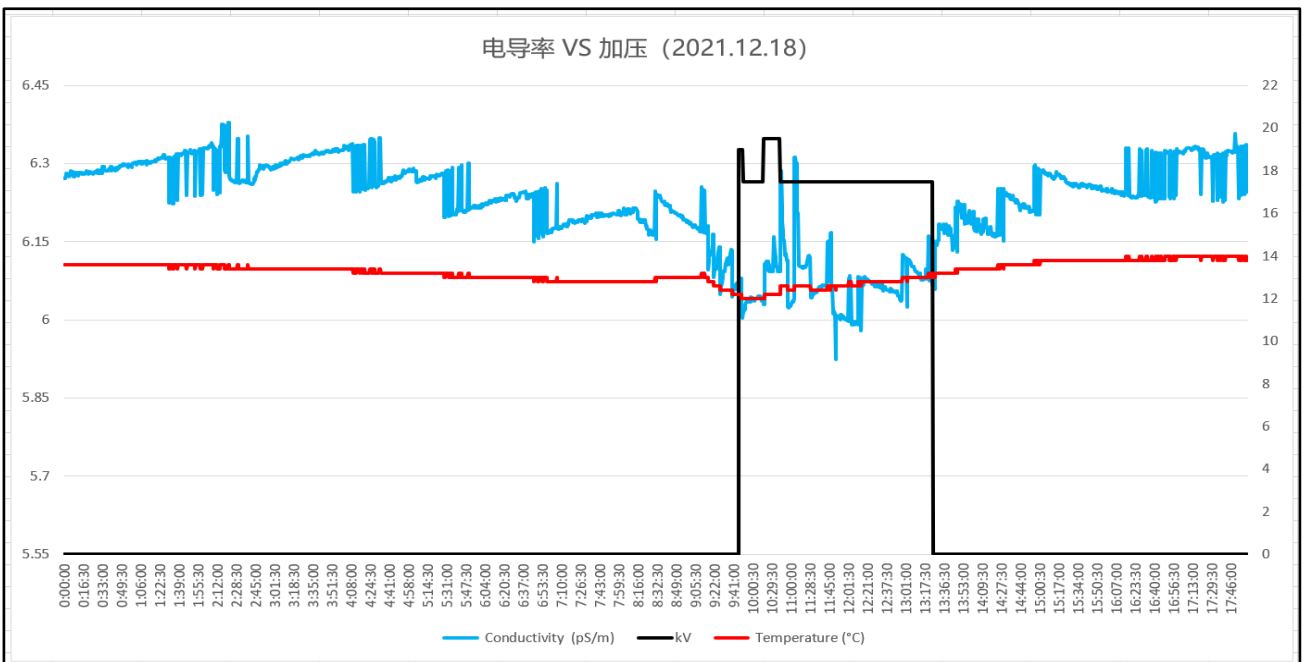
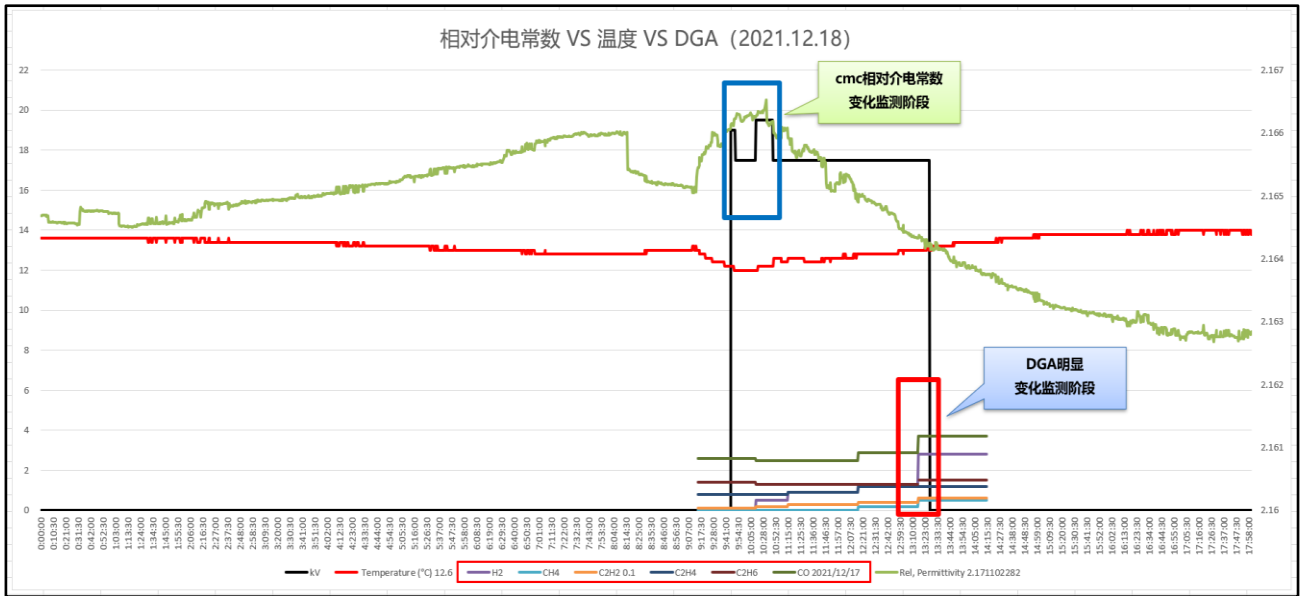


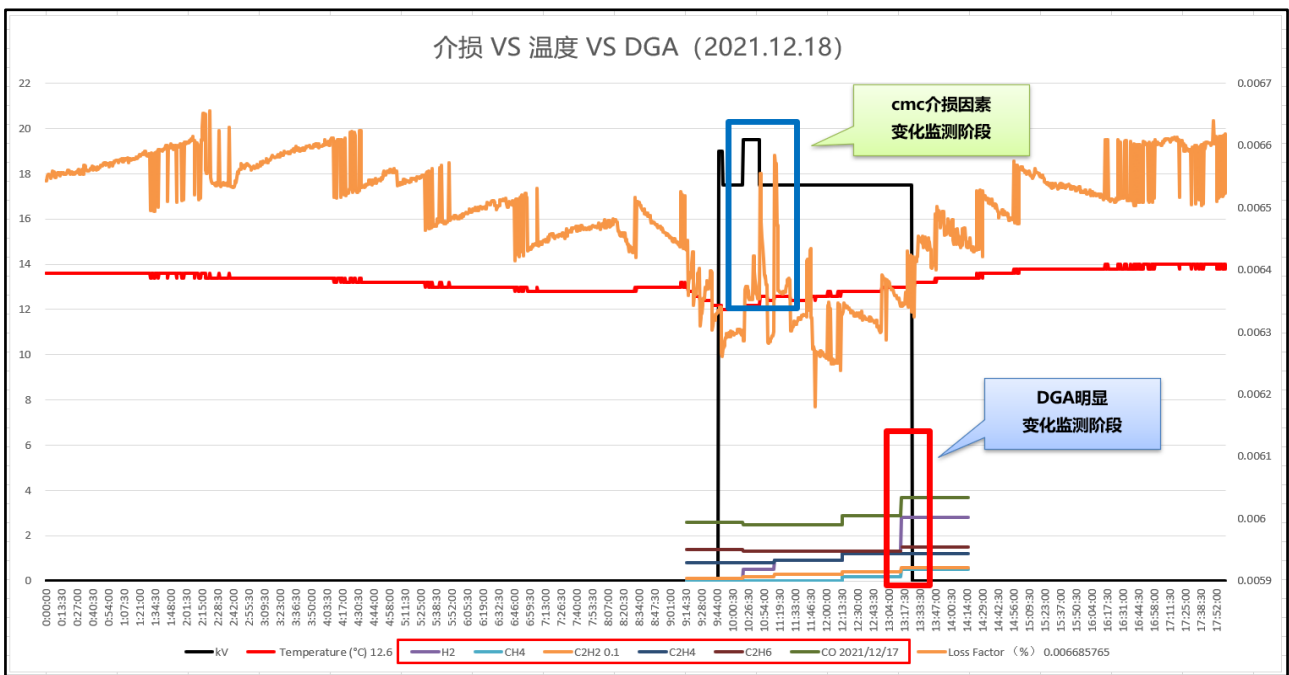
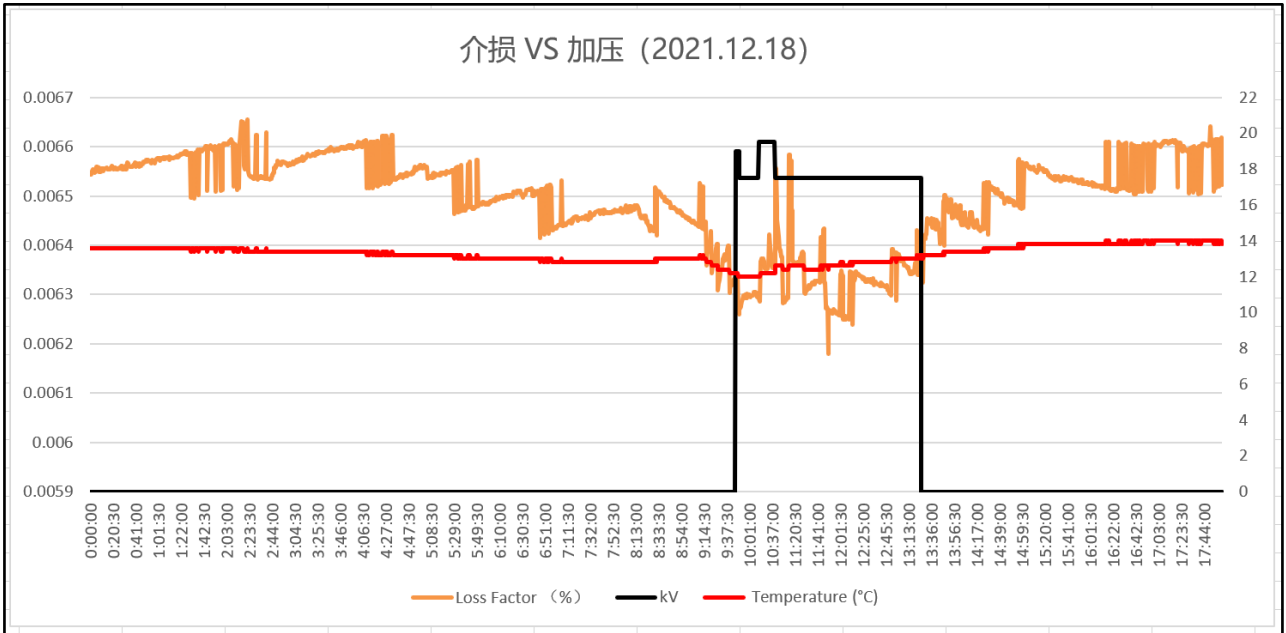
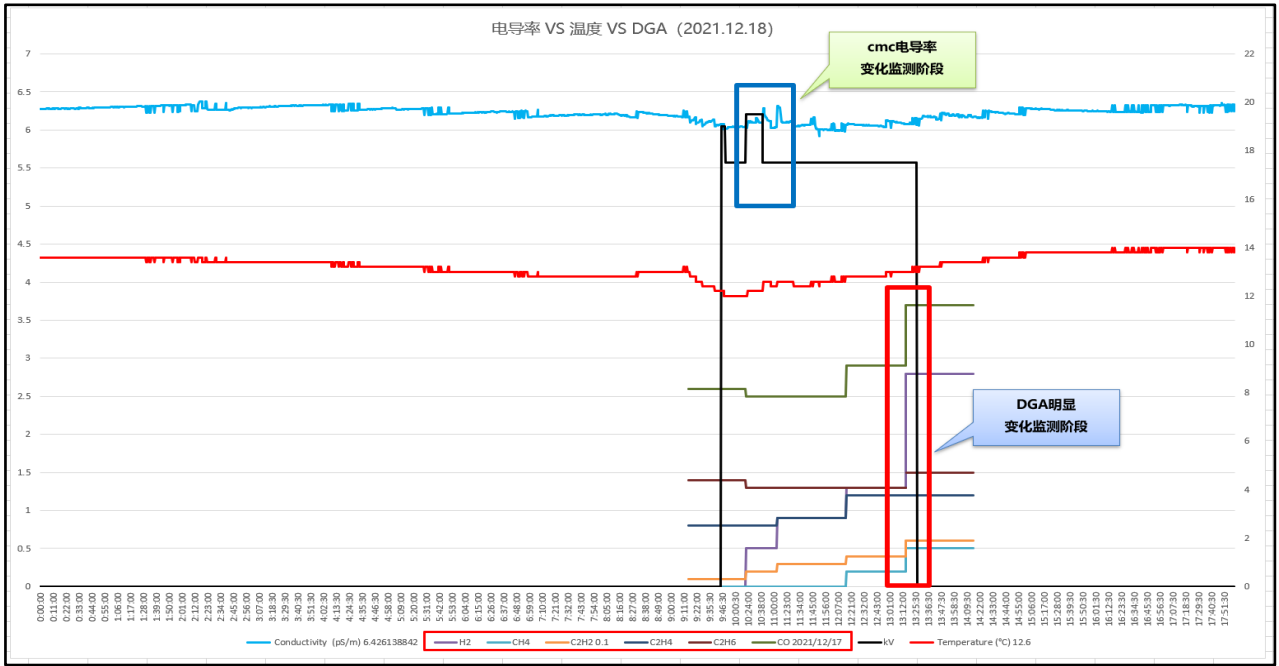
○ 数据分析

可以确定电导率和相对介电常数对瞬间放电击穿均十分敏感, 但由于放电前油泵短时间停止, 其他数据需做进一步分析。

○ 2021.12.18 数据分析、DGA 趋势对比



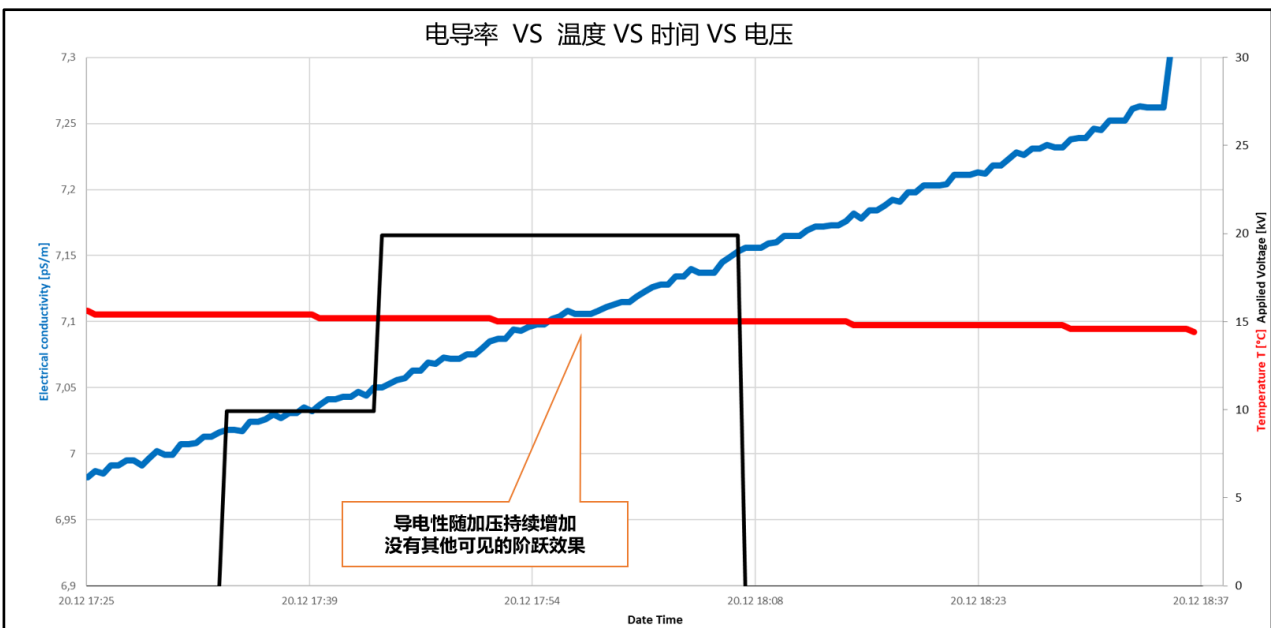
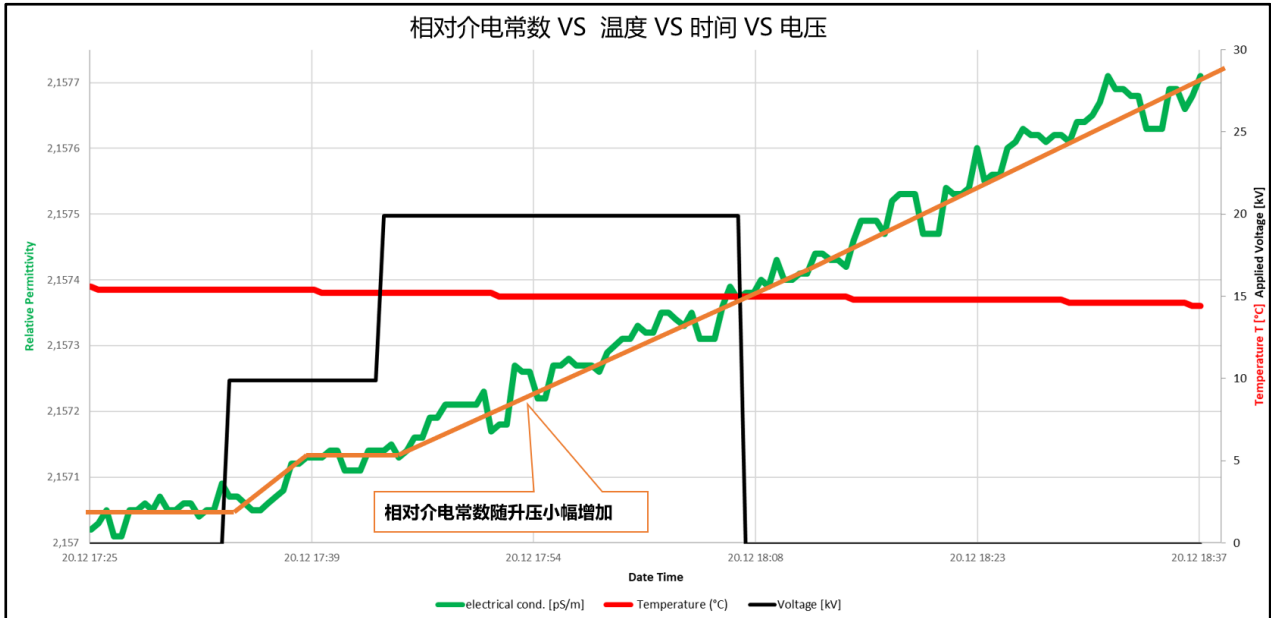




## ○ 数据分析

12.17 傍晚 17:53 分更换了新的绝缘后，在 12.18 早上 9:45 分实验开始加压后电导率、相对介电常数、介损短时间内均产生显著变化，现场 DGA 设备大约在 2 小时后发生反应。

## ○ 2021.12.20 数据分析



## ○ 数据分析

在放电/击穿电压阈值以下进行的更为紧凑的测量表明两个参数的增加趋势：电导率和相对介电常数。

## ■ 综合结论

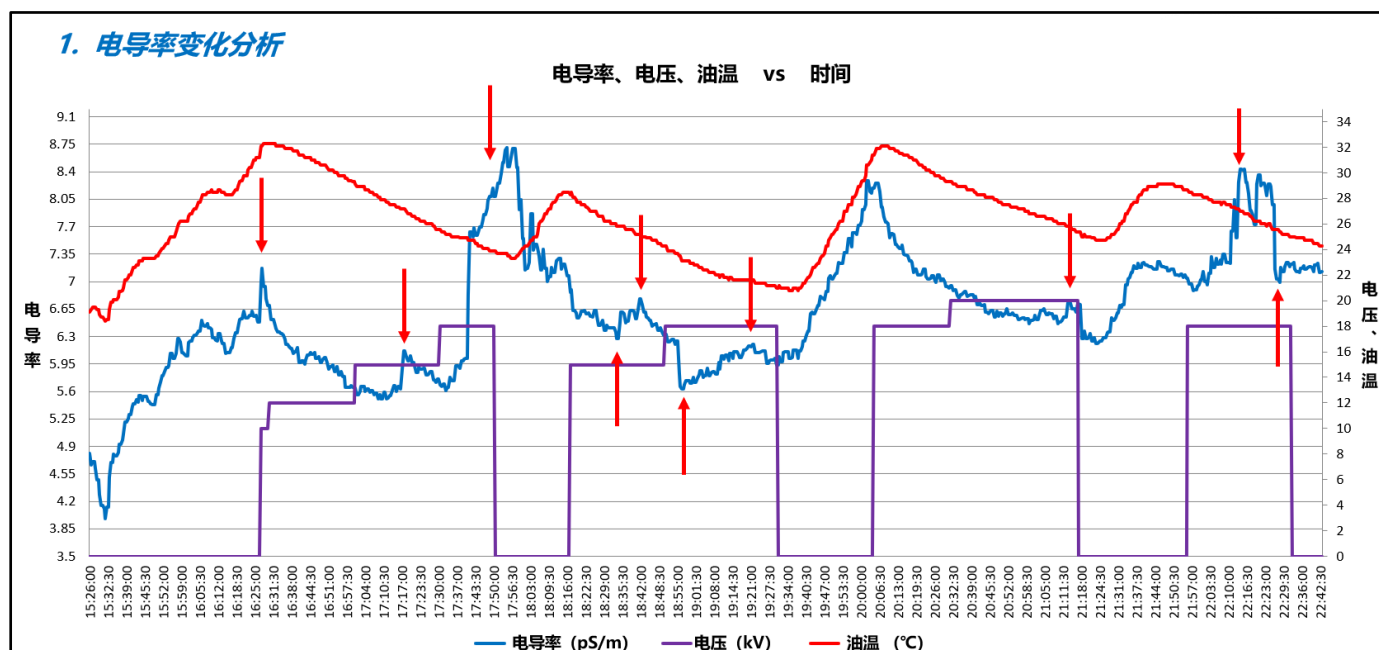
通过本次简单的实验可以找到一些有趣的行为和解释在击穿放电电导率下降。一个可能的原因可能是，在击穿电压上方/周围的放电中产生负电荷和正电荷载流子，从而导致负电导率变化。如果

只产生负电荷载流子，电导率就会上升。但在击穿之前，我们有一个中性条件，由于这种油和特定装置在较高电压水平（25 kV）下放电时部署的能量，“中性”流体在 + 和 -（总和中性）中裂解，但需要一些时间重新组合。但是我们假设这种效应不会出现在大型变压器上。

因此，在正常运行的变压器中，我们很可能不会观察到负电导随时间的变化趋势。损耗因数  $\tan \delta$  描述的机油老化和机油清洁度可用于中长期机油状况变化。当 + 和 - 离子重新组合时（OQ3000CT 安装在变压器旁路线路上），放电时正负电荷的直接影响很可能消失。当然，石油降解的总体影响将在中/长期变化中显现出来。

整个测试过程中，电导率、相对介电常数、介损值的具体波动分析建议进行数据建模后结合水分（水活度、湿度）、污染度、击穿电压等值进行综合分析，可以更加详尽的了解和分析油品的变化对设备的影响。

## ○ 2022.01.19 数据分析

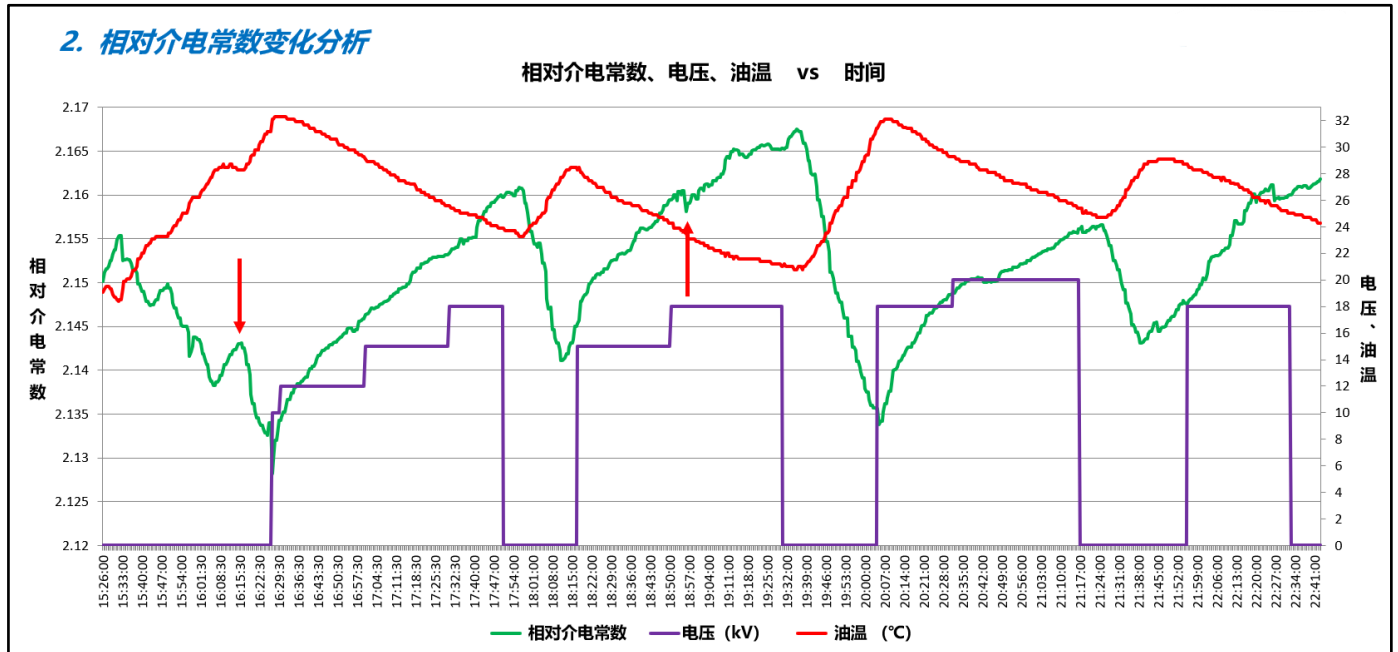


### ● 电导率数据解析

- ①. 总体而言电导率变化与温度变化趋于一致，随温度升高上升，随温度下降降低。
- ②. 但可以看出红色箭头所指之处的变化明显区别于温度的常态一致变化。
- ③. 电压达到 15kV 后电导率出现连续的异常变化。
- ④. 电导率的两个异常峰值均是电压达到 18kV 后发生的。
- ⑤. 电压在达到 20kV 时电导率有短暂异常波动。
- ⑥. 电压在 0kV 的加温过程中，特别是稳定加热超过 10 分钟后电导率无异常变化。

## ● 实验现场局放变化说明

- ①. 电导率在电压初期短暂升高至 10kV 时（局放 10~20PC）无明显变化，3 分钟后电压升高至 12kV，局放瞬间偶尔达到约 80~120PC 后趋于稳定。
- ②. 除 10kV 以外，电压每次升高至次一级电压（15kV、18kV、20kV）初期都会出现偶尔短暂 80~120PC 局放，然后下降至 < 30PC 后趋于稳定。

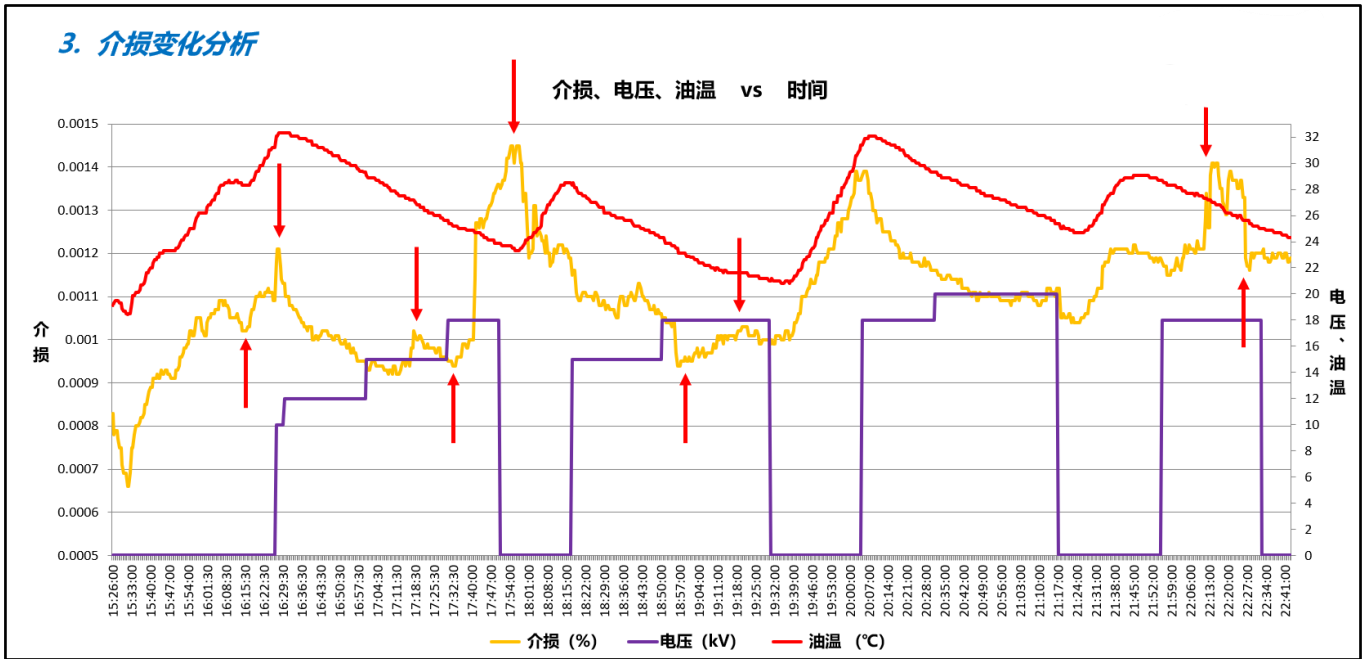


## ● 相对介电常数解析

- ①. 总体而言相对介电常数的变化与温度变化趋于一致，随温度升高而下降，随温度下降上升。
- ②. 红色箭头标注区间相对介电常数发生了异常变化。
- ③. 总体而言，相对于电导率和介损而言，相对介电常数对电压及局放变化并不十分敏感。
- ④. 相对介电常数短暂且偶发异常变化在本次实验中很难单独说明问题。



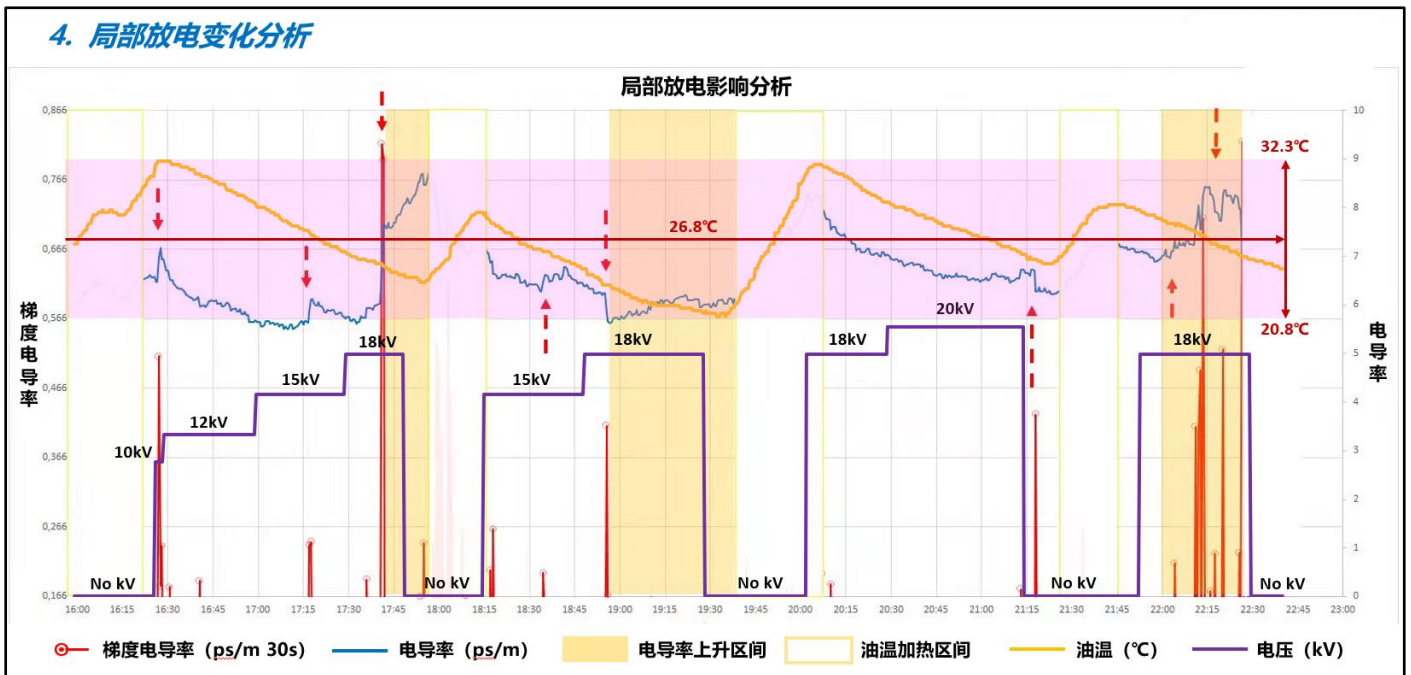
### 3. 介损变化分析



#### ● 介损解析

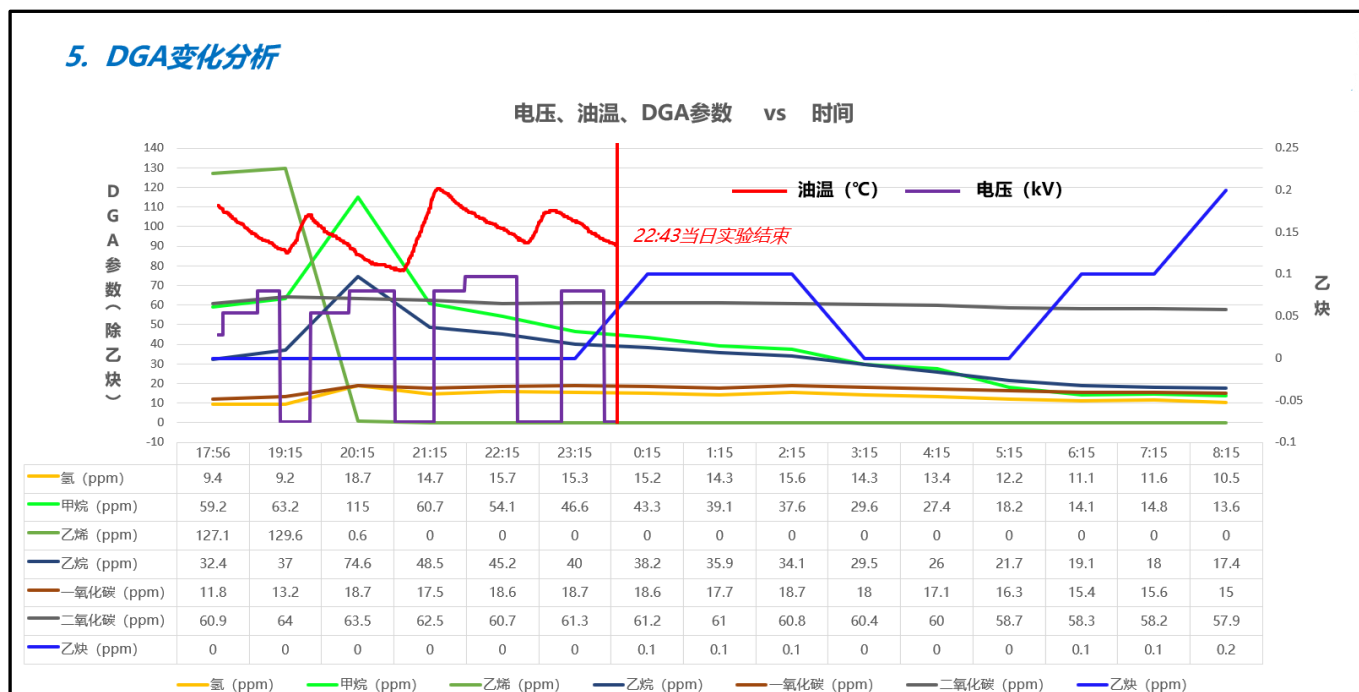
- ①. 总体而言介损的变化与温度变化趋于一致，随温度升高上升，随温度下降降低。
- ②. 但可以看出红色箭头所指之处的变化明显区别于温度的常态一致变化。
- ③. 介损变化与电导率变化几乎一致。
- ④. 电压达到 15kV 后介损出现连续的异常变化。
- ⑤. 介损的两个异常峰值均是电压达到 18kV 后发生的。
- ⑥. 电压在达到 20kV 时介损有短暂异常波动。
- ⑦. 电压在 0kV 的加温过程中，特别是稳定加热超过 10 分钟后介损没有异常变化。

### 4. 局部放电变化分析



● 梯度电导率解析

- ①. 梯度电导率对电压变化极为敏感。
- ②. 梯度电导率峰值与电导率峰值一致。
- ③. 梯度电导率对局放极为敏感，第二个峰值时梯度电导率长时间处于峰值区间，说明出现了长时间局放变化。
- ④. 电压达到 15kV 后梯度电导率开始出现异常变化。
- ⑤. 梯度电导率的两个异常峰值均是电压达到 18kV 后发生的。
- ⑥. 电压在达到 20kV 时梯度电导率有短暂异常波动。
- ⑦. 梯度电导率在首次升压电压达到 10kV 时出现了明显的高峰变化。
- ⑧. 电压在 0kV 的加温过程中，特别是稳定加热超过 10 分钟后梯度电导率几乎没有异常变化。



● 特别说明

- ①. DGA 每一小时采集一次数据，显示数据为前一小时采集分析结果。
- ②. 图表中温度和电压均以调整为 DGA 采集数据时的实时数据。（无一小时延时）
- ③. 因实验于当晚 22: 32 停止，因此 22: 32 以后加压（18kV→0kV）停止。
- ④. 22:43 最后温度记录为 24.3℃，根据之前实验降温速度（随着与环境温度温差缩小，降温速度会减缓），结合以前实验经验，推算油温在 0 时左右会将至 12℃左右，并持续温度。
- ⑤. 由于本次实验用油长期用于各类试验，且使用了击穿过的绝缘纸，因此实验用油初始各参数较高。考虑为已发生了相当老化、劣化的绝缘油。

● DGA 数据解析 (※ 温度及电压变化具体参数值请参考之前图表)

- ①. 17:56 及 19:15 数据数据量太少, 且无明显变化。
- ②. 20:15 显示数据中, 氢、甲烷、乙烯均达到最高值, 其他参数无明显变化。但由于数据显示有一小时延迟, 即显示数据为 19:15 时采样分析结果。19:15 时电压为 18kV (油温 21.6°C), 19:30~20:04 电压为 0kV, 油温加温中。
- ③. 由于实验过程中局放始终较低 (基本在 < 30PC 之内, 最高也没有超过 120PC, 且仅为偶发), 且乙炔未发生明显变化, 考虑是加温过程油中水与加热棒铁反应, 将水分子中的氢置换出来; 或油中的溶解氧与铁板发生催化作用释放出氢。
- ④. 瞬间急速加热, 铁芯过热 (考虑为加热棒中心温度) 也可加速油膜裂解生成氢气。但由于乙炔未有明显变化, 参照价值不大。
- ⑤. 由于氢气升高的同时产生了较高的甲烷, 符合部分产生局放的判断因素。但由于实验中产生的局放极低, 最终结果很难准确判断。
- ⑥. 油和油纸过热释放出部分甲烷和乙烷气体也为考虑因素之一。
- ⑦. 由于 20:15 的取样值 (21:15 显示值) 中氢气、甲烷、乙烷都出现了明显下浮, 且后续持稳定下降趋势。但当时仍在持续加温中, 且油温 (31.4°C) 接近实验中的最高油温, 各类气体的变化趋势与常规 DGA 故障判断特征不符, 给准确的判断带来巨大困扰。

■ 实验总结 (仅基于本次实验条件及环境)

- ①. OQ3000CT 系统电导率、梯度电导率、介损对于局放、升压较为敏感。
- ②. 相对介电常数对于局放、升压不敏感。
- ③. 由于试验条件较为单一, 相较于实际运行中的变压器干扰因素较少, 可以充分看出温度、升压、局放对电导率、介损、梯度电导率、相对介电常数的明显影响。
- ④. 由于产品没有建模, 无法有效监测水分、污染、酸值、击穿电压的变化, 缺少更加精确分析、判断变化的条件及导致这些变化的因素。
- ⑤. DGA 对电压的细微变化, 微量局放的生产并不敏感, 且有相当的滞后性, 在本次实验条件下无法精确对实验过程进行监测、结果进行准确分析。
- ⑥. OQ3000CT 系统可以比 DGA 系统更精确的对变压器油变化全工程进行监测, 更早的发现故障征兆。

END