

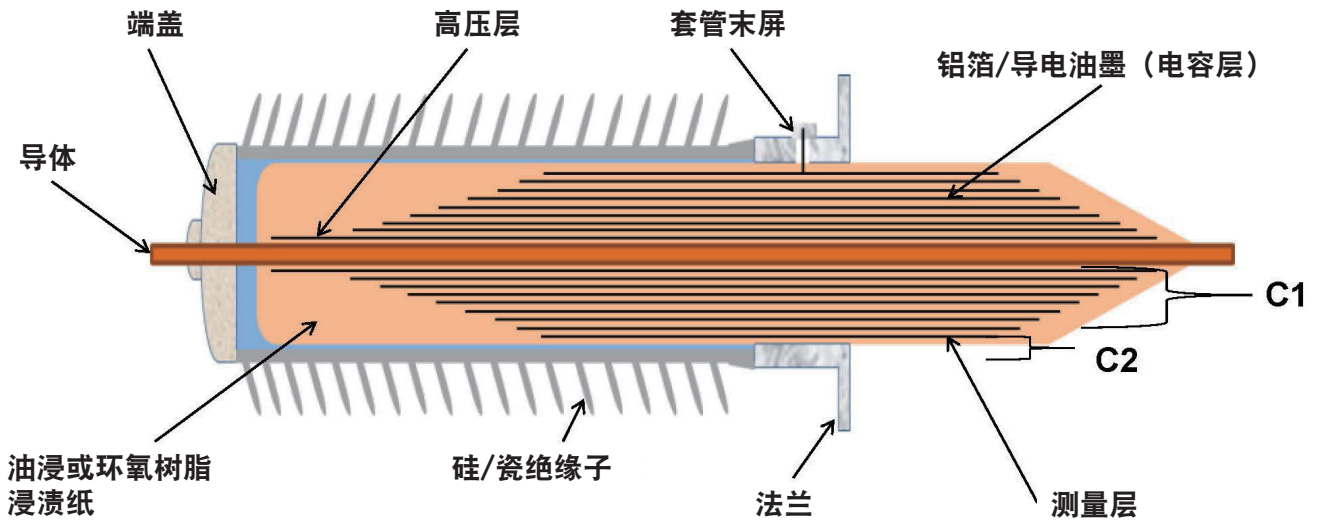
QUALITROL®

2020年8月 · 发电

变压器套管监测的新方法



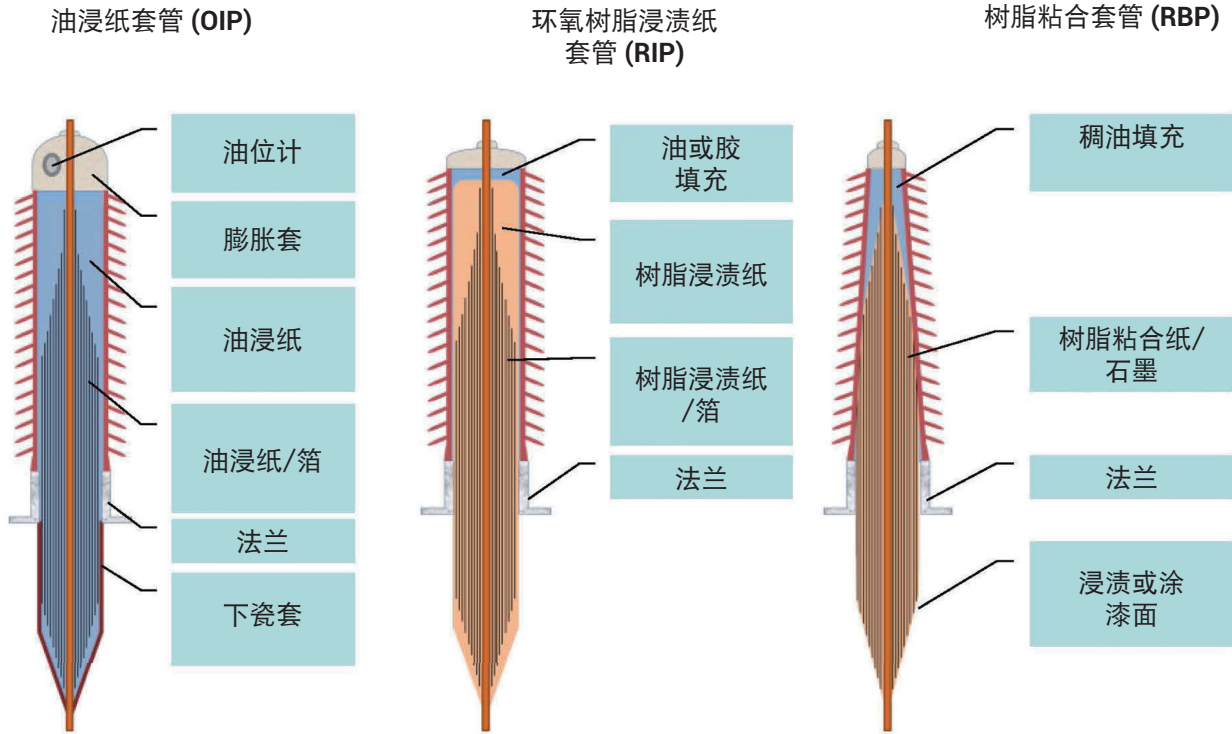
电容式套管结构和关键组件



C1电容是中心导体和末屏之间的电容。

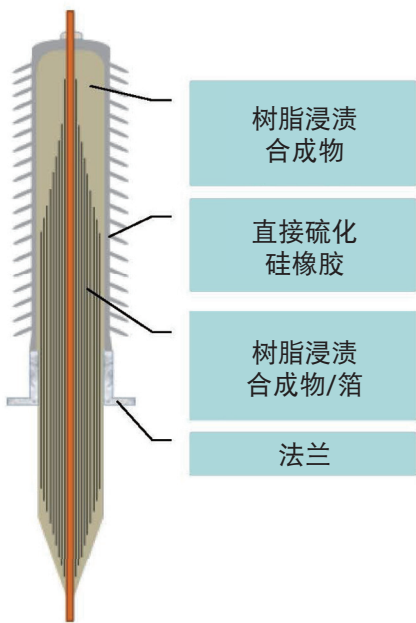
C2电容是末屏和地之间的电容。

套管技术的类型

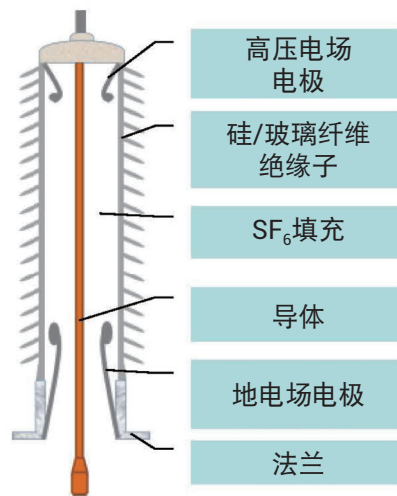


套管技术的类型

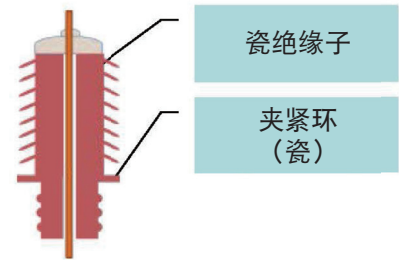
树脂浸渍合成套管 (RIS)



SF₆填充空心绝缘套管 (用于GIS)



DIN套管 (瓷或硅 - 最大36kV)

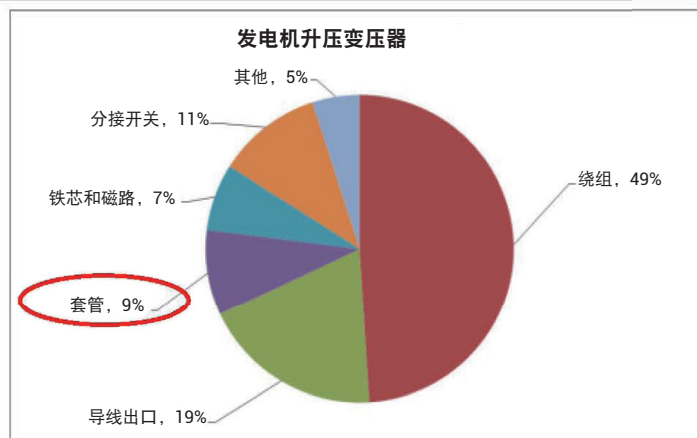
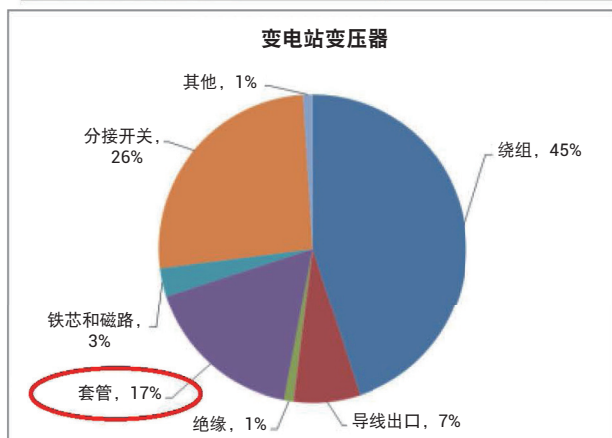


这两种类型的套管无法进行tan d和电容测量，因为它们没有电容器本体（没有测量层）。

变压器故障统计

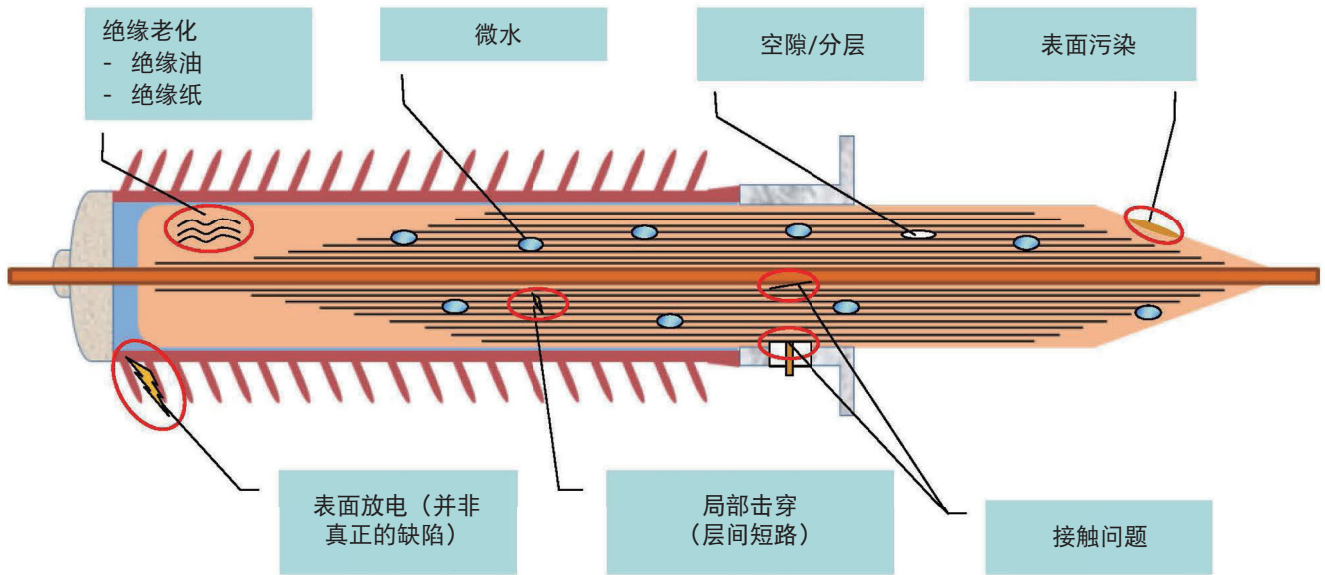
- 最新的变压器统计数据表明，套管故障占到变电站变压器总故障率的17%
- 对于发电机升压变压器，套管故障占到总故障的9%
- 超过50%的套管故障是灾难性的

故障和数量信息	最高系统电压 [kV]					
	69 kV < 100	100 kV < 200	200 kV < 300	300 kV < 500	kV 700	所有
故障	145	212	163	154	11	685
变压器x年数	15220	48994	47473	41569	959	156186
故障率/年	0.95%	0.43%	0.34%	0.37%	1.15%	0.44%

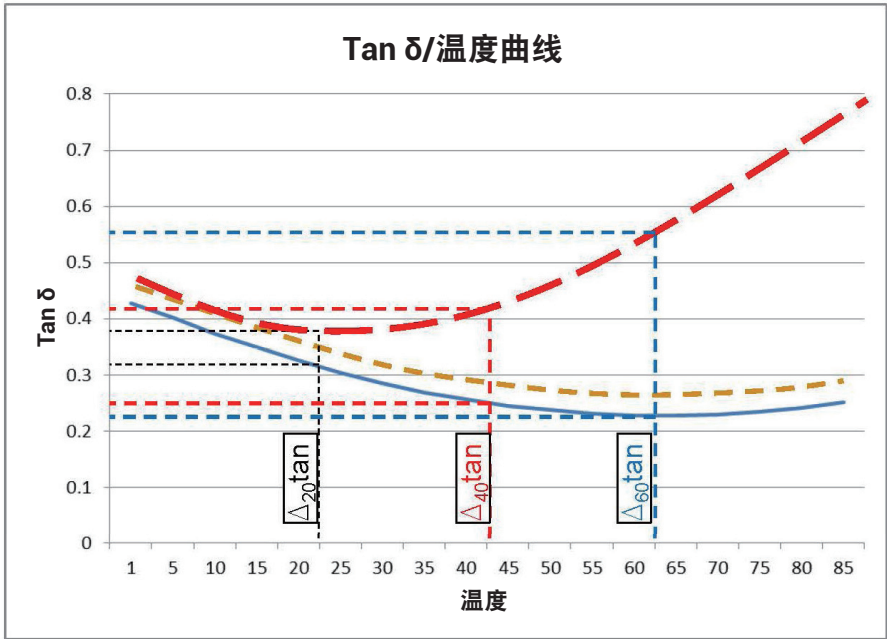


资料来源: WG A2.37, Transformer Reliability Survey: Interim Report, No. 261 - April 2012 ELECTRA

典型的套管缺陷



套管绝缘中的额外微水



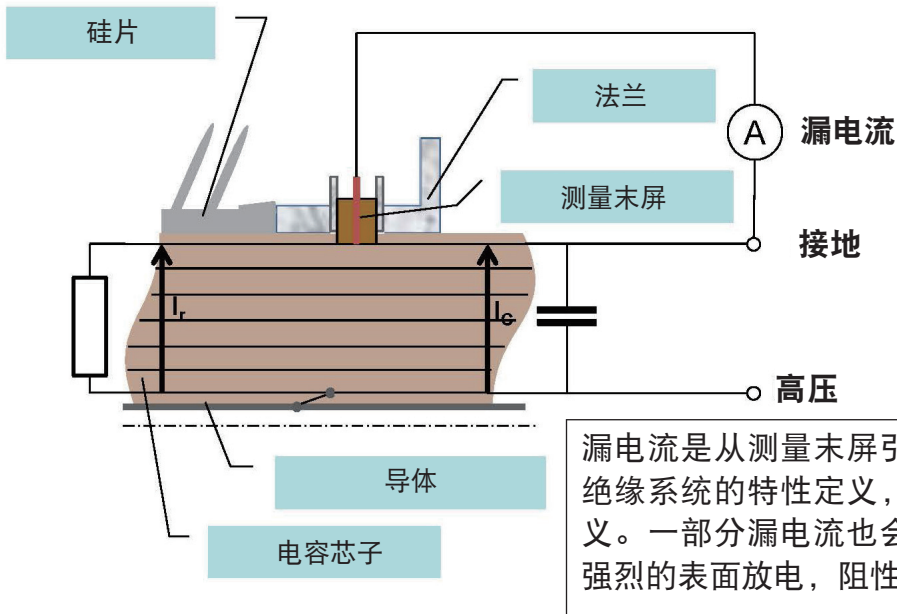
- 干燥套管
- - - 正常老化的套管
- - - 带微水的套管

20°C下, tan δ随套管微水含量的变化很小。当温度更高时, tan δ梯度会增大, 并且可以更清晰地检测到微水含量。然而, 40°C时套管干湿绝缘之间的耗散因数差异可能只有0.2%, 因此仍然需要高精度来提前检测到微水/绝缘老化。

$$\Delta_{20tan} < \Delta_{40tan} \ll \Delta_{60tan}$$

仅适用于潮湿套管！

漏电流

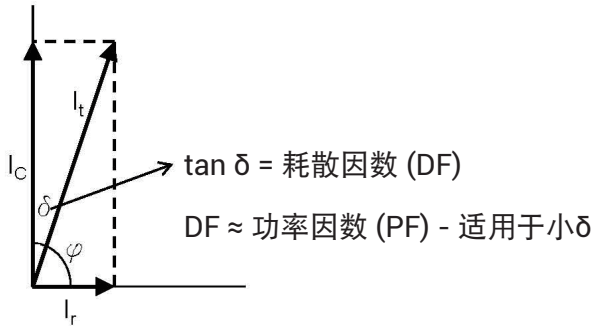


漏电流是从测量末屏引脚流入大地的电流。阻性部分由绝缘系统的特性定义，而容性部分由机械和电气设计定义。一部分漏电流也会沿着表面流动。由于表面污染或强烈的表面放电，阻性电流可能会受到影响。

I_c - 容性电流
 I_r - 阻性电流

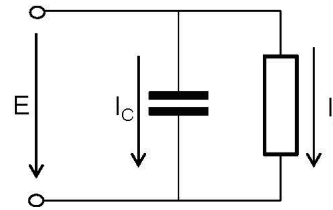
功率因数 ($\approx \text{TAN } \delta$)

等效电路



电容两端施加的电压与通过电容的总电流之间的相位角

等效电路

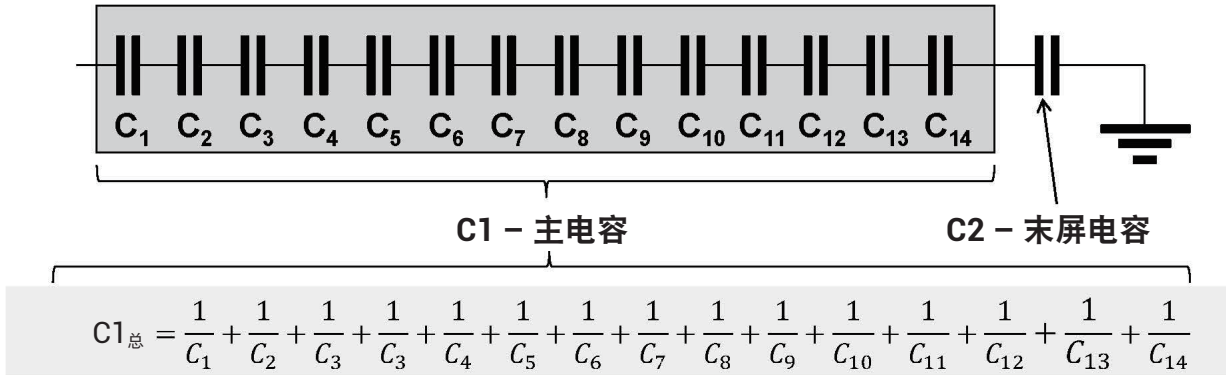


功率 = 电压 (E) x 电流 (It) x Cosine (φ)
 Watts = E x Ir
 Watts = E x It x Cosine(φ)
 $PF = \text{Cosine}(\varphi) = \text{Watts}/E \times It = E \times Ir / E \times It = Ir/It$

如果Ir增大, 则 φ 减小且PF增大

电容

套管中有多个串联的电容器



- 当电容层短路时，电容值将增加
- 串联的电容器作用相当于分压器
- 如果电容器短路，则末屏电压将成比例增加
- 此外，漏电流会随着电压变化而发生变化
- 因此，如果电压增加，漏电流也会增加

在线套管监测参数挑战

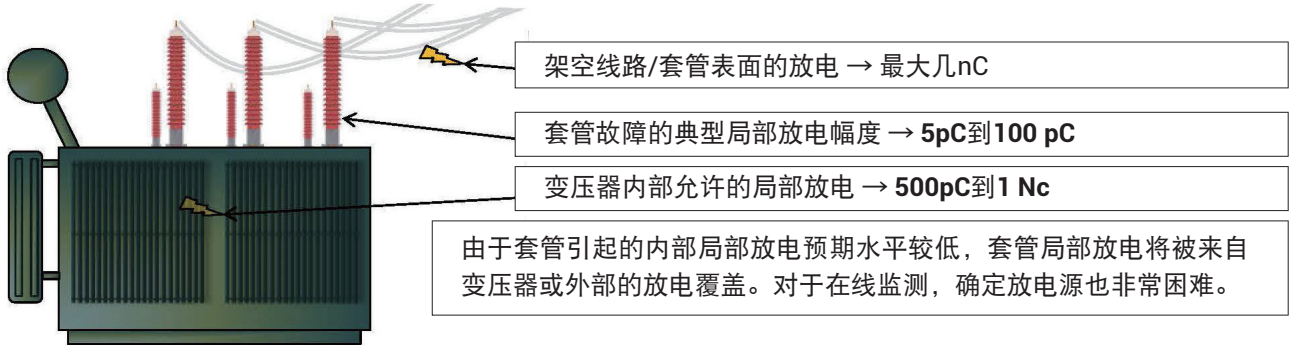
局部放电

优点：

- 可使用传统局部放电技术测量
- 在绝缘油或固体绝缘系统局部损坏之前提供预警

缺点：

- 非常难以区分外部和内部放电
- 相比于电晕放电或变压器油箱外的放电，套管放电通常很小，因此大多数时候无法提前检测到套管自身的放电





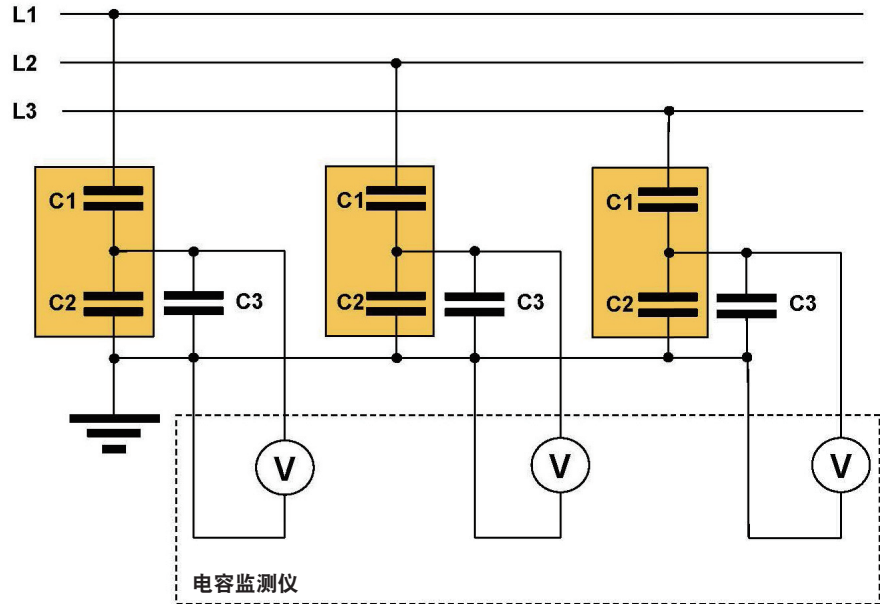
不同套管现象的可检测性

缺陷	Tan δ	电容	局部放电
绝缘老化	+	-	-/+ 如果放电是劣化/老化原因导致， 则可检测
微水	+	-	-
空隙/分层	(+) 经过特定时间后，介电材料 开始腐蚀	-	+
表面污染	+	-	+/- 如果表面污染产生了表面放电
表面放电	+/- 高强度的表面放电可以通过 不稳定的tan δ 检测到	-	+
局部击穿	+/- 如果与绝缘材料的腐蚀 相结合	+	+/-
接触问题	+	+	+
	显示出增大或不稳定的tan δ	显示出减小或不稳定的电容	

套管电容在线监测

电容监测

- 电容器C3（在 μF 范围内）将连接在套管末屏与接地之间
- 电容器C3两端的电压将与线路电压或其他相的C3电容器两端的电压进行比较
- 如果C1增加（局部击穿），则C3两端的电压将永久下降（超过1%）



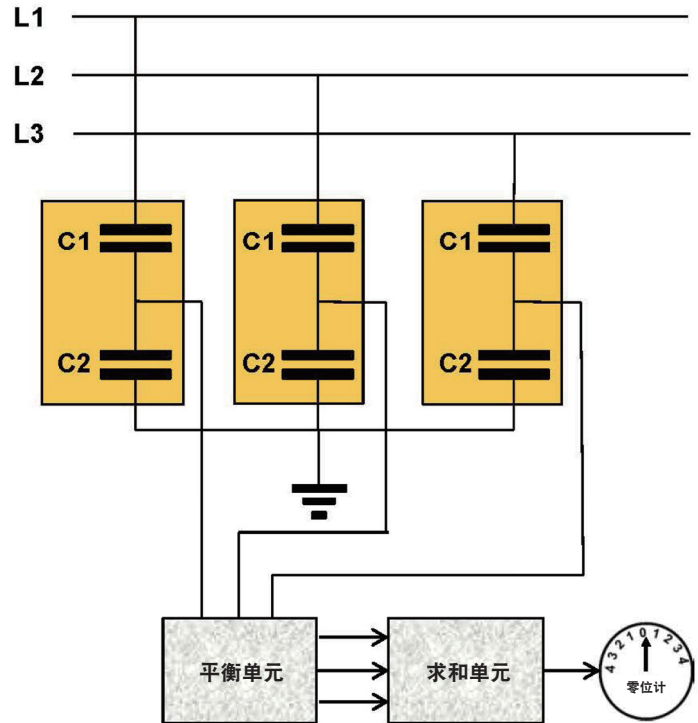
结论

电容增大和接触问题可以通过简单的方式检测。
无法检测到其他变化（例如微水、绝缘劣化）。

在线套管监测平衡电流法

平衡电流法

- 假设：所有相的电压幅值完全相同，相间的相角为完美的 120°
- 这种情况下（假设所有套管具有相同的温度和相同的条件），所有套管漏电流的总和将为零
- 单个漏电流幅度的变化将被看作容量增加
- 电流总和增加而单个漏电流没有增加，将视为某个套管的功率因数（耗散因数）增加
- 实际上，相电压和相位角会根据负载平衡和电网状态而波动



结论

测量值的波动会导致无法检测绝缘系统的变化，例如微水、缓慢劣化或老化。只能检测电容的变化（局部击穿）或耗散因数（功率因数）的重大变化。



在线套管监测平衡电流

关于负载不平衡导致的典型相位和电压不对称的不准确性的一些想法：

1

考虑到典型的相位和电压不对称（相位为 0.2° ，电压为1.0%），可以假设不同相位的漏电流存在以下偏差：

- 幅度为1至1.5%（跟随电压）
- 角度为 0.2°
- 比较不同相的漏电流会导致误差：

-电容测定中为1至1.5%

-0.0035的 $\tan \delta$ 绝对值（典型RIP套管的 $\tan \delta$ 绝对值为0.00325）

2

虽然可以通过考虑实际相电压来补偿电容误差，但相位角不平衡难以补偿。

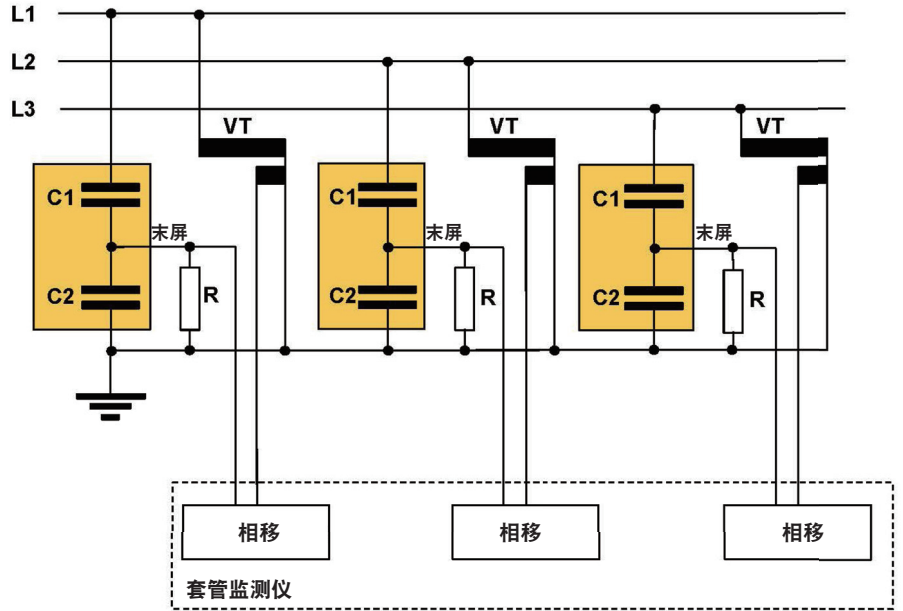
3

因此，难以准确检测绝缘材料劣化和微水导致的变化。

套管监测参考信号法

参考信号法

- 测量套管泄漏电流和参考电压的相位差
- 90° - 相位差表示角度Delta
- 相位差直接表示角度Phi
- 通过使用漏电流的RMS值和相电压的RMS值，可以计算电容值
- 套管单独测量



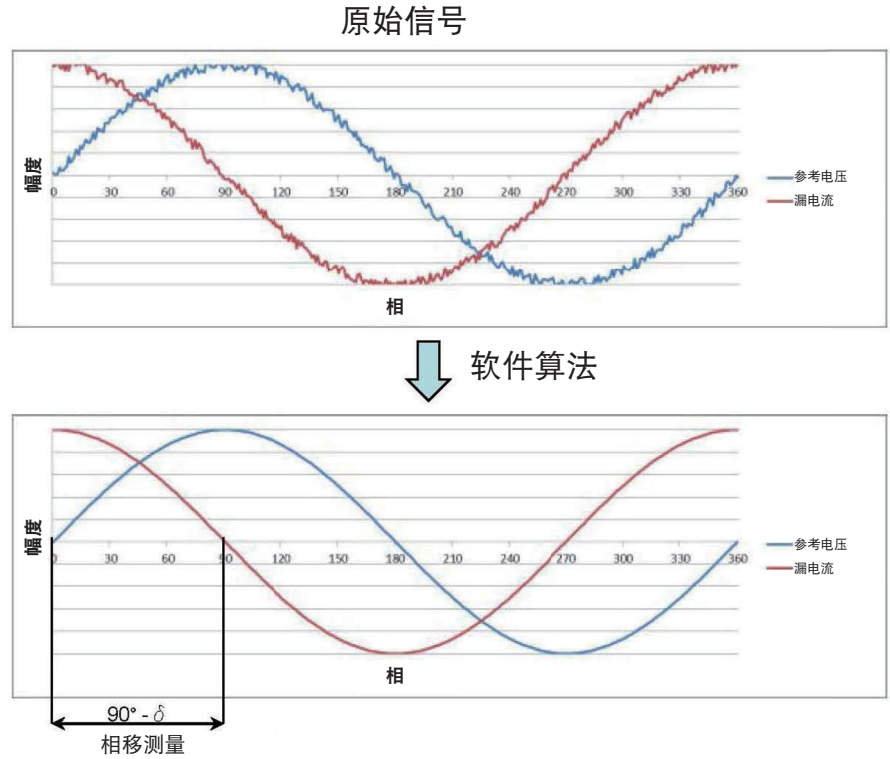
结论

通过使用先进的软件算法减少噪声和干扰，可以实现高精度的相位差测量。

在线套管监测相移法

信号处理

- 噪声和谐波需要通过先进的软件算法消除
- 相位测量的精度优于0.1mrad (0.0057度)
- 精度能够检测tan d的变化，例如0.325%到0.340%
- 这可实现早期检测到微水增加、绝缘系统劣化和退化
- 实现该精度必须进行温度补偿





结论

1. 通过使用参考信号进行套管在线功率因数测量，可以单独测量每个套管，并且彼此相互独立。
2. 使用与套管连接同相的参考信号，可以减少Tan Delta（功率因数）测量值的波动，提高检测精度，甚至可以检测到与微水问题相关的即将发生的故障或其他处于早期阶段的故障。
3. 由于并非总是有可用的VT（或只有单相），因此不同论文中提出的其他方法可能具有发展前景，有待进一步测试。



如需有关产品和解决方案的
更多信息

请联系我们: cs.china@qualitrolcorp.com