

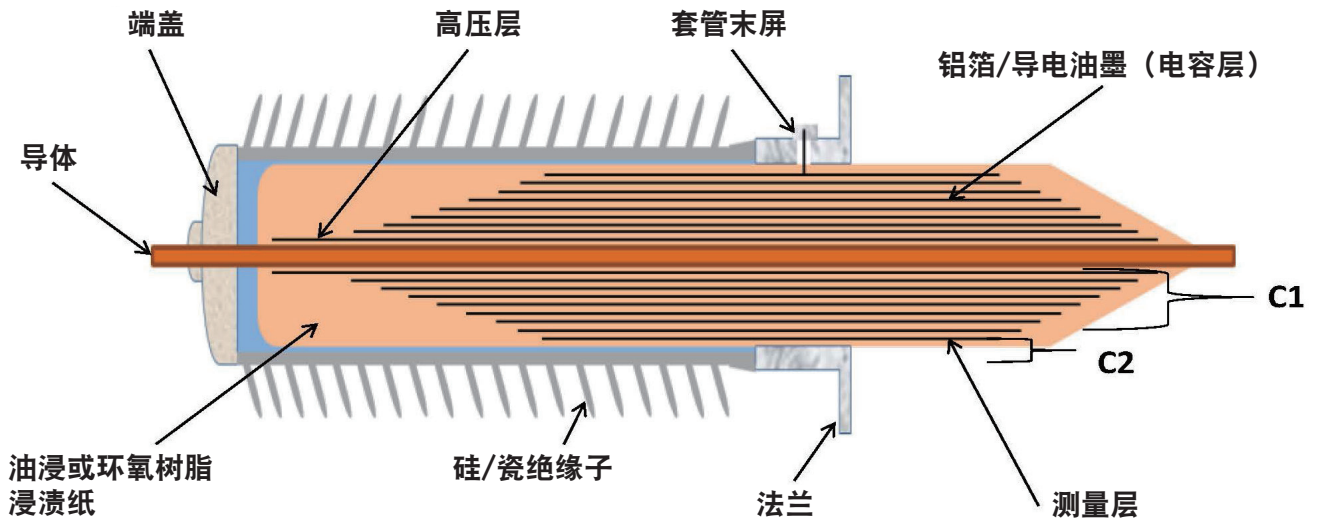
# QUALITROL®

2020年8月 · 发电

## 在线套管监测参数挑战



电容式套管结构和关键组件

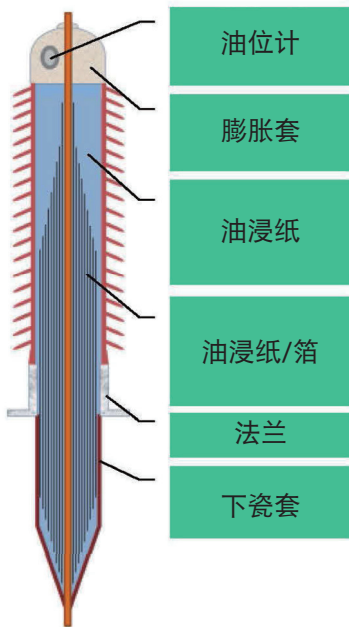


**C1**电容是中心导体和末屏之间的电容。

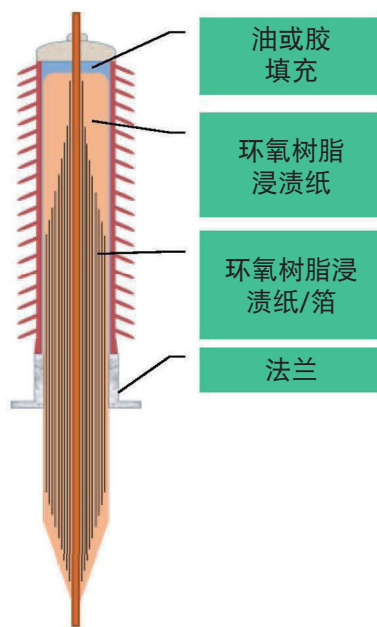
**C2**电容是末屏和地之间的电容。

套管技术的类型

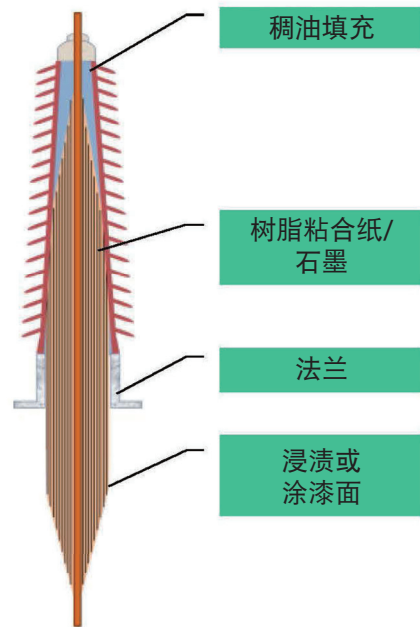
油浸纸套管 (OIP)



胶浸纸套管 (RIP)

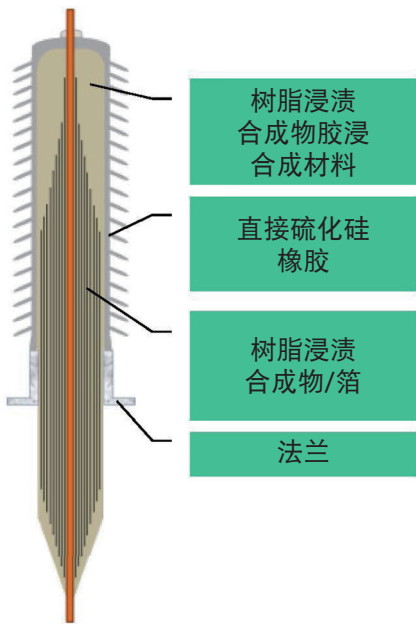


胶粘纸套管 (RBP)

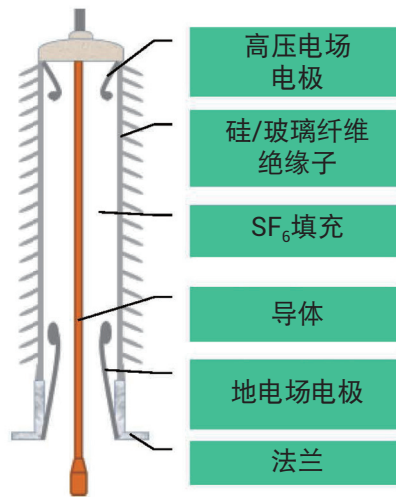


套管技术的类型

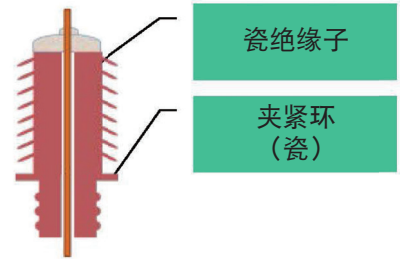
环氧树脂浸渍纸套管 (RIS)



SF<sub>6</sub>填充空心绝缘套管 (用于GIS)



DIN套管 (瓷或硅 - 最大36kV)

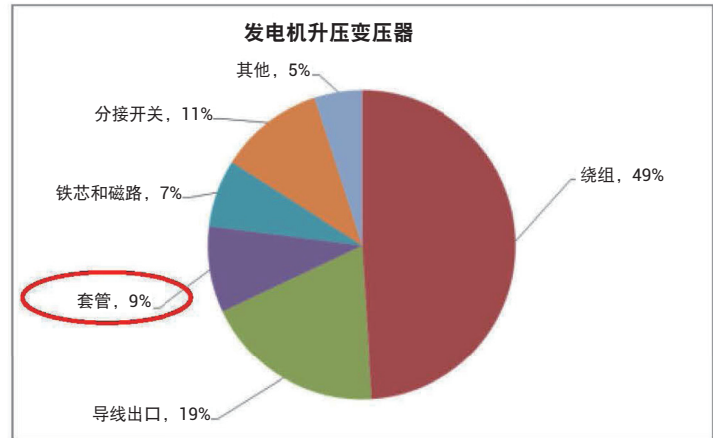
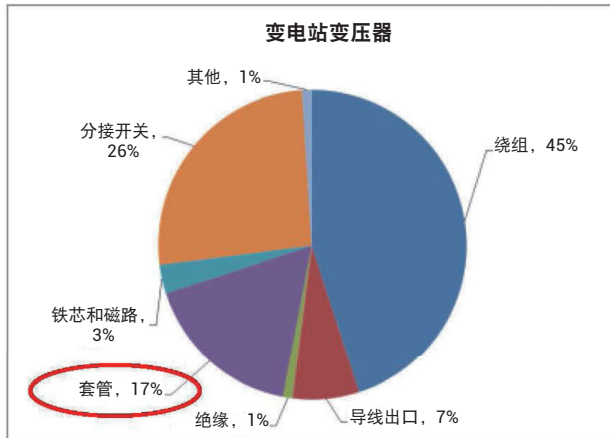


这两种类型的套管无法进行tan d和电容测量，因为它们没有电容器本体（没有测量层）。

## 变压器故障统计

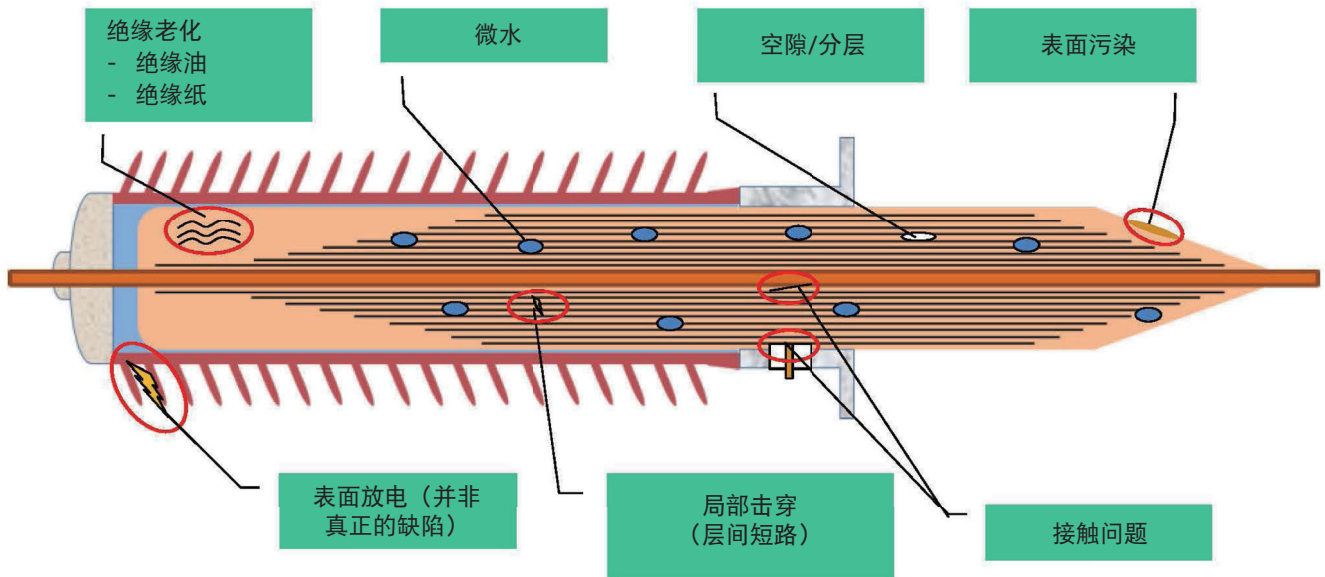
- 最新的变压器统计数据表明，套管故障占到变电站变压器总故障率的17%
- 对于发电机升压变压器，套管故障占到总故障的9%
- 超过50%的套管故障是灾难性的
- 70%的灾难性变压器故障都基于套管

故障和数量信息	最高系统电压 [kV]					所有
	69 kV < 100	100 kV < 200	200 kV < 300	300 kV < 500	kV 700	
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%



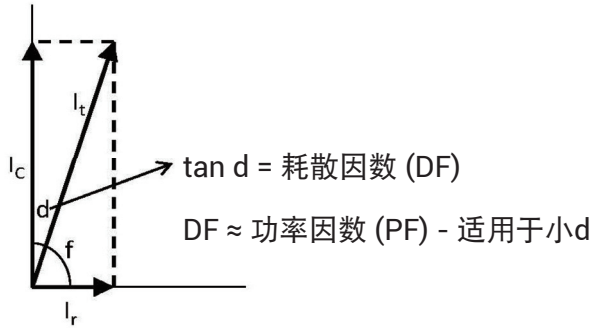
资料来源: WG A2.37, Transformer Reliability Survey: Interim Report, No. 261 -April 2012 ELECTRA

典型的套管缺陷



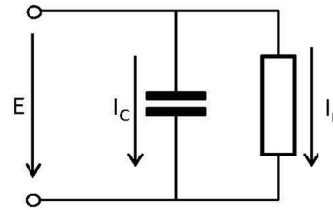
功率因数 ( $\approx \text{TAN } \delta$ )

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 (f)

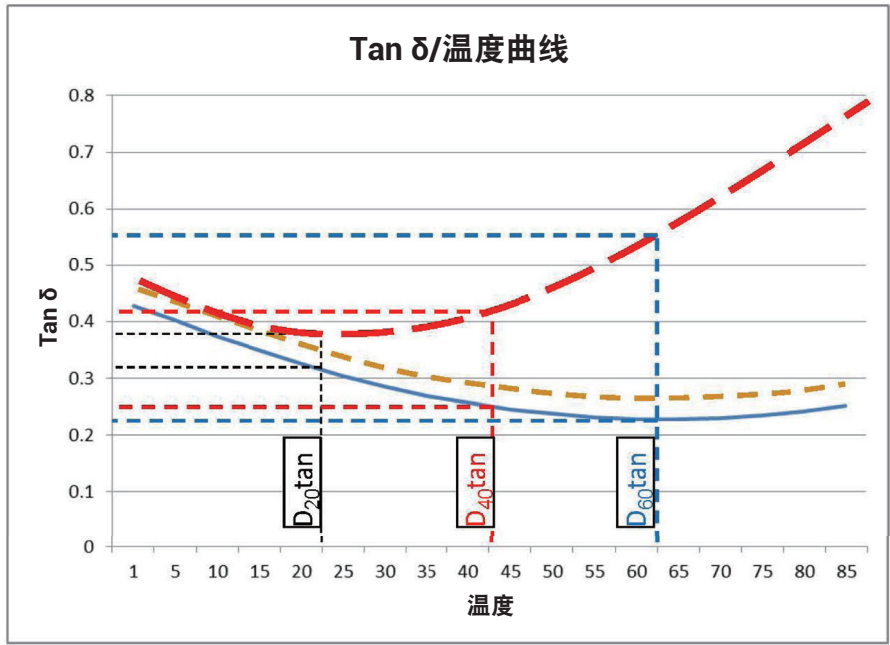
Watts = E x Ir

Watts = E x It x Cosine(f)

PF = Cosine(f) = Watts/E x It = E x Ir /E x It = Ir/It

如果Ir增大，则f减小且PF增大

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。

$$D_{20tan} < D_{40tan} \approx D_{60tan}$$

仅适用于潮湿套管！





## 在线套管监测参数挑战

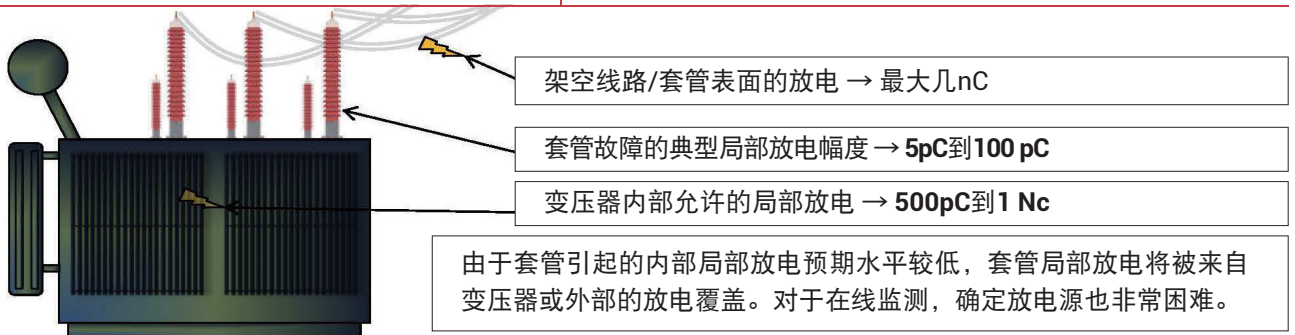
### 局部放电

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:

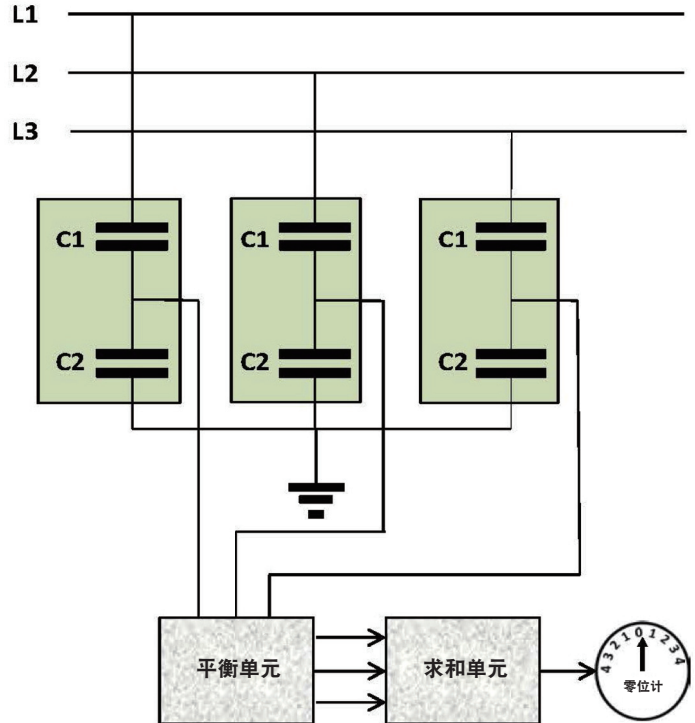
- 非常难以区分外部和内部放电
- 相比于电晕放电或变压器油箱外的放电，套管放电通常很小，因此大多数时候无法提前检测到套管自身的放电



## 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 $120^\circ$
- 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 $0.2^\circ$ ，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 $0.2^\circ$
- 比较不同相的漏电流会导致误差：
  - 电容测定中为1至1.5%
  - $0.0035 \times \tan \delta$ 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。

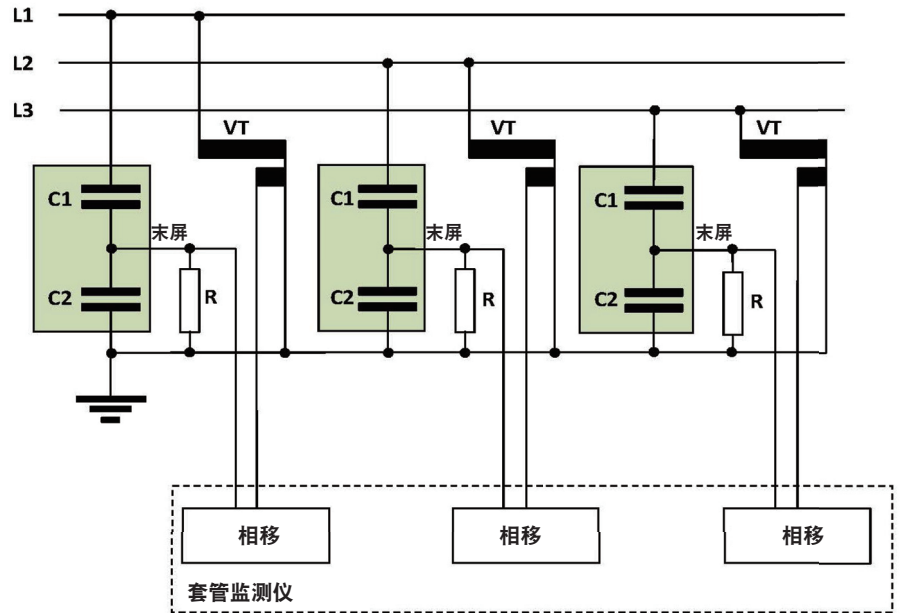
3

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
- $90^\circ$  - 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



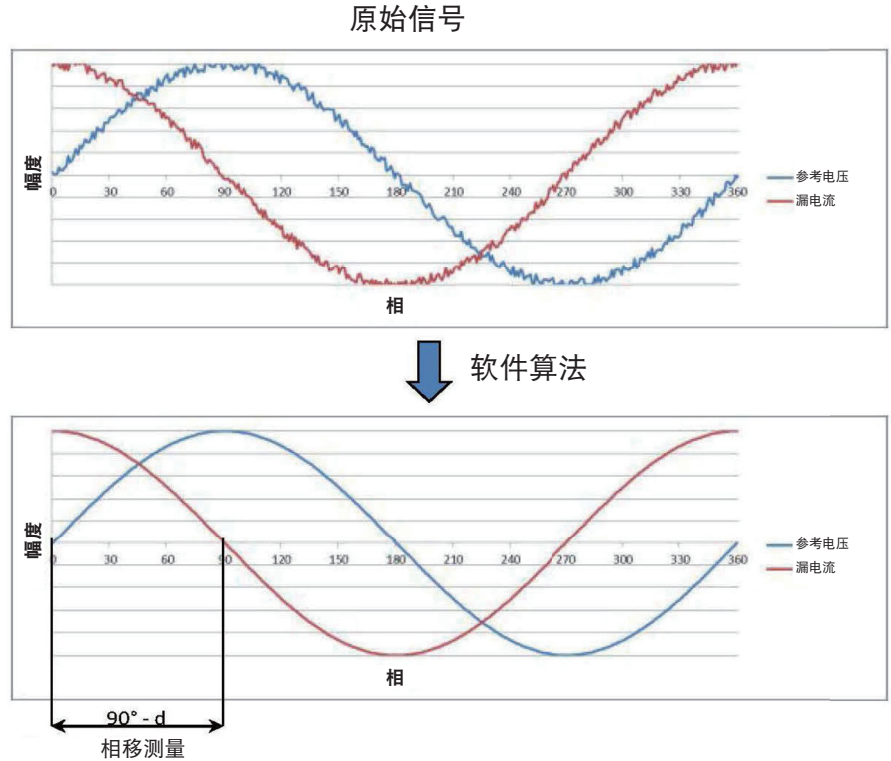
### 结论

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](mailto:cs.china@qualitrolcorp.com)