



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

液体与固体介质的电气特性

# 液体介质的击穿

主讲：卞建鹏

# 目录



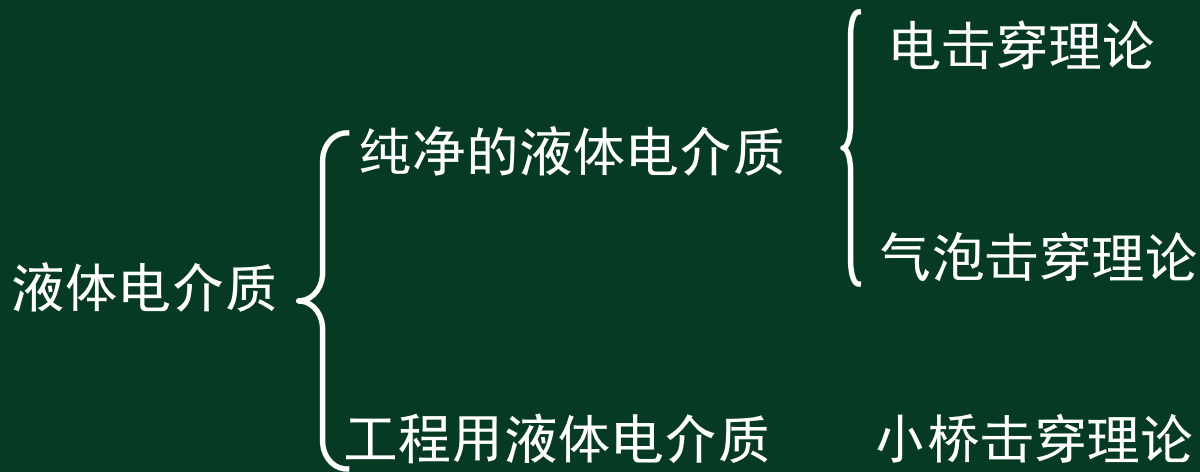
在线开放课程

1. 纯净液体电介质的击穿理论
2. 工程液体电介质的击穿理论
3. 影响液体电介质击穿电压的因素
4. 提高液体电介质击穿电压的方法

# 液体电介质的击穿理论



在线开放课程



# 1、纯净液体电介质的击穿理论

## 1) 电子碰撞电离理论

- ◆ 与**气体放电汤逊理论**相似；在外电场足够强时，电子碰撞液体分子引起电离，形成**电子崩**。同时正离子在阴极附近形成空间电荷层增强了阴极附近的电场，使**阴极发射的电子数**增多，导致液体介质击穿。
- ◆ **液体密度比气体密度大得多**，电子的平均自由行程很小，积累能量困难，所以纯净液体的击穿场强比气体大得多。

# 1、纯净液体电介质的击穿理论

## 2) 气泡击穿理论

液体中出现  
气泡

交流电压下串联介质中电场强度的分布与介质的介电常数成反比

气泡先发生  
电离

气泡电离后温度上升、  
体积膨胀密度减小

电离产生的带电粒子撞击  
油分子，使它又分解出气  
体，导致气体通道扩大

许多的气泡在电场中排列成  
气体小桥贯穿两极

击穿在通道  
中完成

## 2、工程液体电介质的击穿理论

① 杂质小桥  
接通电极



杂质中电导大

泄漏电流增加，  
导致发热

水分汽化

气泡扩大

② 杂质小桥未  
接通电极



杂质中介  
电常数大

油中电场强度增高

引起油电离

油分解出气体，  
气泡扩大

气泡因电离  
或发热而不断扩  
大，排列成气体  
小桥贯穿两极，  
液体最终在气体  
通道中击穿

# 3、影响液体电介质击穿电压的因素

## 1) 液体介质本身品质的（杂质）影响

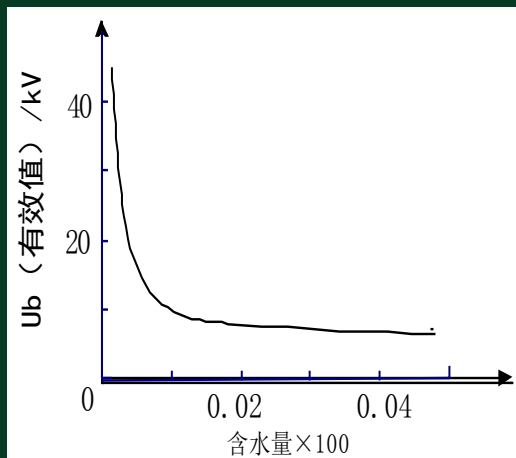
### ① 含水量

◆ 液态水在油中的两种状态：

□ 以分子状态溶解于油中，对击穿电压影响不大；

□ 以悬浮状态悬浮在油中，易形成“小桥”使击穿电压明显下降；

◆ 含0.1%的水分，油的击穿电压降到干燥时的15%—30%。



变压器油的工频击穿电压和含水量的关系

# 3、影响液体电介质击穿电压的因素

## ② 含纤维量

- ◆ 电场作用下，纤维形成“小桥”，使油的击穿电压降低；
- ◆ 有很强吸附水分的能力，联合作用使击穿电压降低更为严重。

## ③ 含碳量

◆ 碳粒的产生（油的分解物）：电弧

- 碳粒具有较好的导电性，局部场强增加，击穿电压降低；
- 活性碳粒有很强的吸附水分和气体的能力。当其沉积到导体导体或固体表面时（油泥），影响散热，且易造成油中沿固体表面的放电。



# 3、影响液体电介质击穿电压的因素

## ④ 含气量

- ◆ 溶解在油中气体影响较小，黏度和耐电强度稍降。
- ◆ 所溶气体的来源：直接、分解、电解
- ◆ 当温度、压力等外界因素改变时，油中溶解气体可能析出
  - 成为气泡，导致局部放电，使油老化，降低击穿电压；
  - 溶解在油中的氧气会与油分子发生化学结合，使油逐渐氧化，酸价增大，并加速老化。

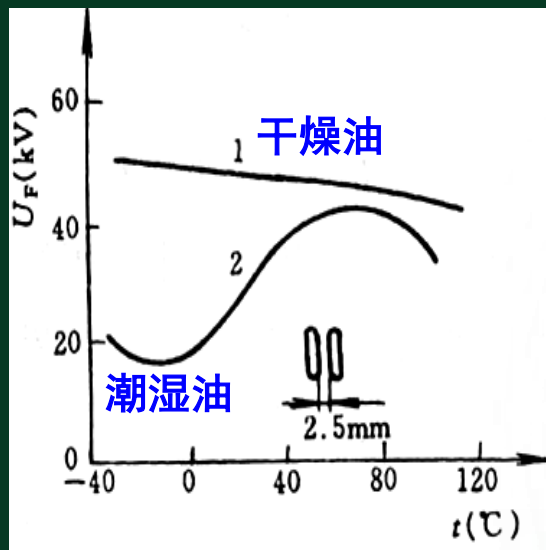
# 3、影响液体电介质击穿电压的因素

## 2) 温度

□干燥的油：随油温升高，电子碰撞电离过程加剧，击穿电压下降。

□潮湿的油：温度上升：一部分水分从悬浮状态转为溶解状态，使击穿电压上升；

➤超过80°C后：水开始汽化，产生气泡，引起击穿电压下降，在60°C~80°C间出现最大值。



变压器油工频击穿电压与温度关系

# 3、影响液体电介质击穿电压的因素

## 3) 电场均匀度

### ◆ 油的纯净程度较高时

- 改善电场的均匀程度使工频或直流电压的击穿电压明显提高；

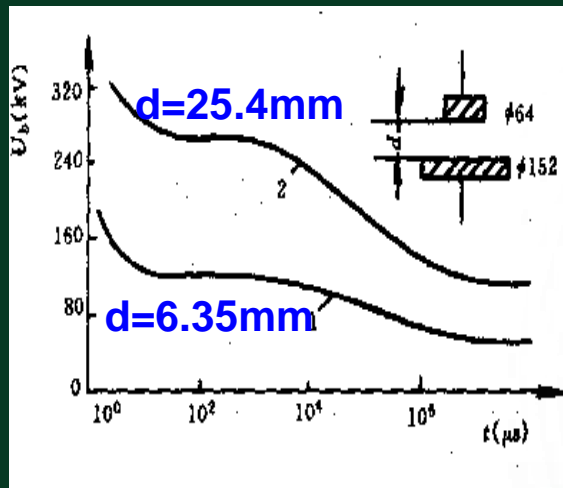
### ◆ 油的品质较差时

- 由于杂质的聚集和排列已使电场畸变，改善电场，击穿电压提高不明显；
- 但含杂质的油受冲击电压作用，杂质来不及运动、聚集而无法形成小桥，所以改善电场均匀程度能提高冲击击穿电压。

# 3、影响液体电介质击穿电压的因素

## 4) 电压作用时间

- ◆ 杂质小桥形成需要时间，油气隙击穿电压会随所加电压时间的增加而下降。
- ◆ 油不太脏时，1min的击穿电压和长时间作用下的击穿电压相差不大，故变压器油做工频耐压试验的加压时间通常为1min。

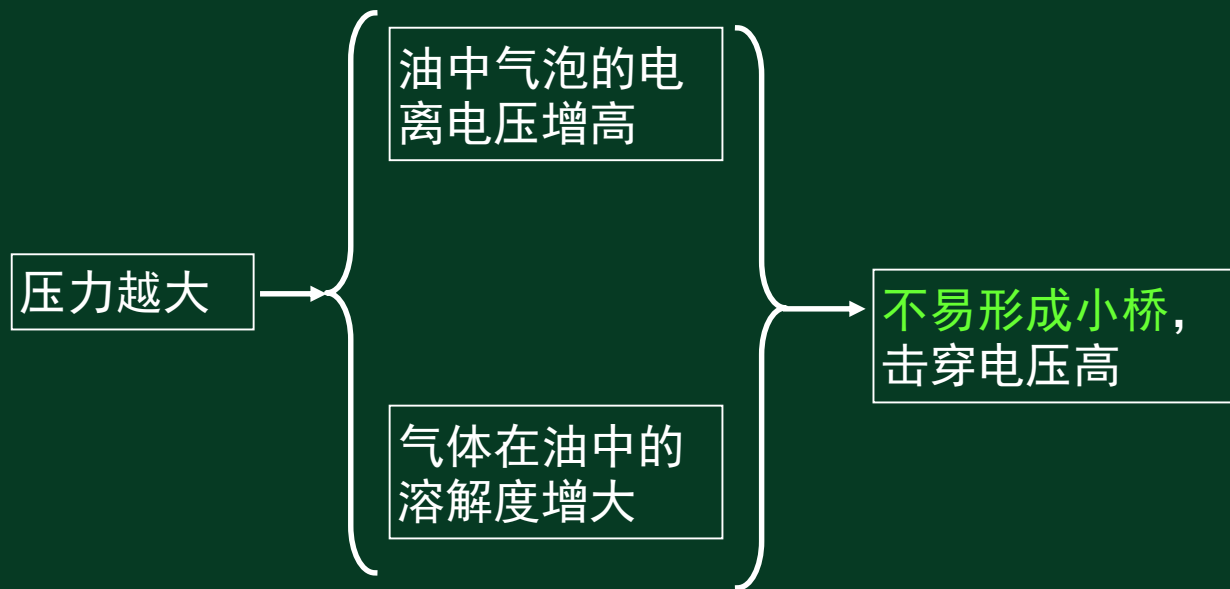


变压器油击穿电压与电压作用时间关系

# 3、影响液体电介质击穿电压的因素

## 5) 压力

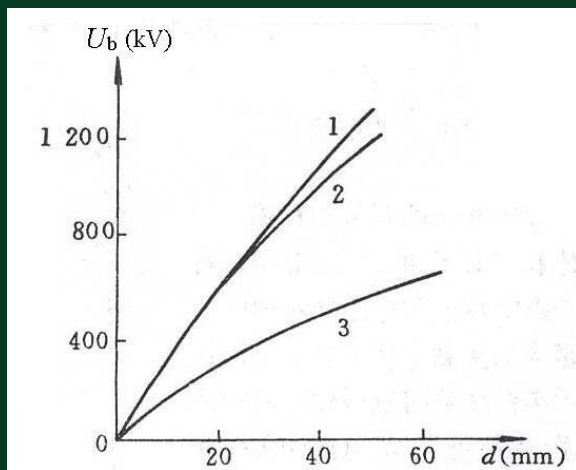
- ◆ 不论电场均匀度如何，变压器油的工频击穿电压总是随油压的增加而增加。



# 3、影响液体电介质击穿电压的因素

## 6) 电压形式

杂质形成小桥所需时间比气体放电长，因此油间隙的冲击击穿强度比工频击穿强度高得多。



- 1—-1.2/50 $\mu$ s波
- 2—+1.2/50 $\mu$ s波
- 3—工频电压

稍不均匀电场中变压器油的击穿电压与间距的关系

# 4、提高液体电介质击穿电压的方法

## 1) 提高以及保持油的品质

- ◆ 过滤：除去纤维、水分、有机酸；
- ◆ 防潮：在浸油前必须烘干，在油箱呼吸器的空气入口放干燥剂；
- ◆ 祛气：油加热，喷雾，油中水分与气体挥发，抽走，真空注油；
- ◆ 吸附剂：对运行中设备的水及油老化产物进行吸附（硅胶）。

# 4、提高液体电介质击穿电压的方法

## 2) 覆盖层

- ◆ 材料：1mm的固体绝缘薄层。漆膜、胶纸带、漆布带；
- ◆ 作用机理：阻碍杂质小桥中热击穿的发展；
- ◆ 适用情况：油品质越差，电场越均匀，电压作用时间越长，则覆盖层的效果越显著。



# 4、提高液体电介质击穿电压的方法

## 3) 绝缘层

- ◆ 材料：可达几十毫米的固体绝缘层；
- ◆ 作用机理：覆在曲率半径较小的电极上，不仅起覆盖层的作用，还可承担电压，改善电场分布，降低这部分空间的场强；
- ◆ 适用情况：不均匀电场中（充油套管的导电杆包有绝缘层）。

# 4、提高液体电介质击穿电压的方法

## 4) 屏障

- ◆ 材料：厚度为2~7mm的固体绝缘板，纸板、胶布层压板；
- ◆ 作用机理：能机械地阻隔杂质小桥改善电场分布，同时可改善油间隙中电场的分布；
- ◆ 适用情况：不均匀电场中效果显著，较均匀电场中也有效果。



# 小结

