



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

组合绝缘的电气强度

主讲：卞建鹏

# 目录

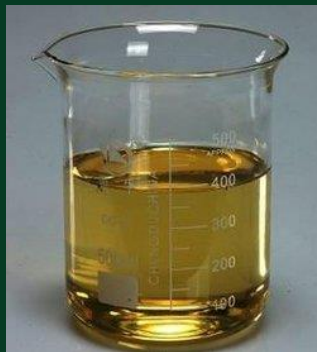


在线开放课程

1. 组合绝缘介质的配合特性
2. 变压器油-纸绝缘
3. 采用分阶绝缘的电力电缆
4. 绝缘的老化

# 1、组合绝缘介质的配合特性

- ◆ 对高压电气设备绝缘，除了必须有优异的电气性能外，还要求有良好的热性能、机械性能及其他物理-化学性能；
- ◆ 单一品质电介质往往难以同时满足这些要求，所以实际绝缘一般采用多种电介质的组合。

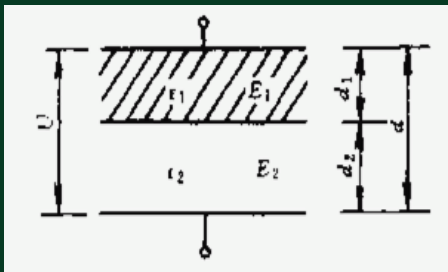


# 1、组合绝缘介质的配合特性

直流电压下——各层绝缘分担的电压与其绝缘电阻成正比。

电场最强的地方用电气强度高、电阻率大的材料。

工频交流和冲击电压下——各层中的电场强度与其相对介电常数成反比。电场最强的地方用电气强度高、介电常数大的材料。



$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

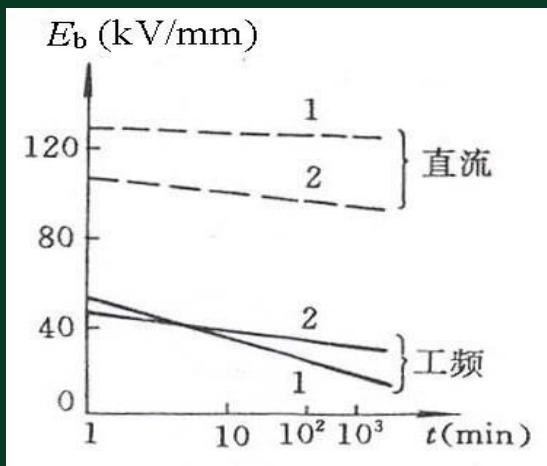
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$$

均匀电场双层介质模型

# 1、组合绝缘介质的配合特性

**击穿场强：**油纸绝缘的直流击穿场强比交流高得多；

**原因：**直流电压作用下油与纸的场强分配比交流时合理（按电阻分压）。



1—粘浸渍电缆：液体只是用作填充空气隙的浸渍剂，击穿场强较高，但散热困难  
2—充油电缆

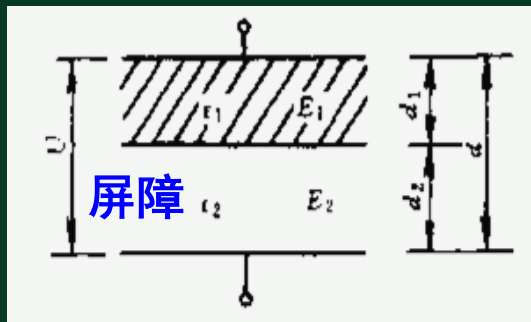
## 2、变压器的油—纸绝缘

### 均匀交流电场双层介质模型

$$\varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_2 E_2$$

$$U = E_1 d_1 + E_2 d_2$$

油中电  
场强度  $E_1 = \frac{\varepsilon_2 U}{\varepsilon_2 d - (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) d_2}$



均匀电场双层介质模型

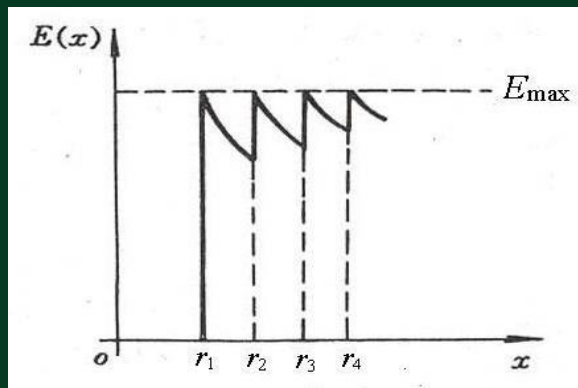
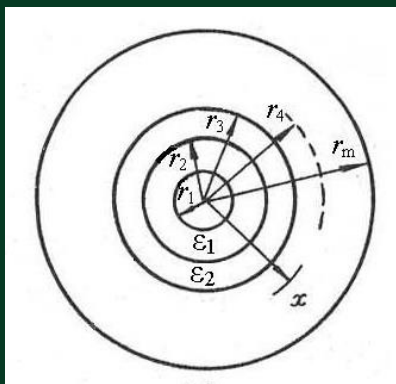
极间距离d不变，增大屏障厚度 $d_2$ ，将使油中 $E_1$ 增大。即在油隙中放置多个屏障，反而是不利的。



# 3、采用分阶绝缘的电力电缆

$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \cdots > \varepsilon_n \quad \text{且} \quad \varepsilon_1 r_1 = \varepsilon_2 r_2 = \cdots = \varepsilon_n r_n$$

在**缆芯附近**采用高密度纤维纸，使其**介电常数大于直径较大处的**。离缆芯较远的介质层也能得到充分利用，因此可使电缆尺寸缩小。



# 4、绝缘的老化

- ◆ 固体和液体介质在长期运行过程中会发生一些物理变化和化学变化，导致其机械和电气性能的不可逆劣化。

## 绝缘老化的原因

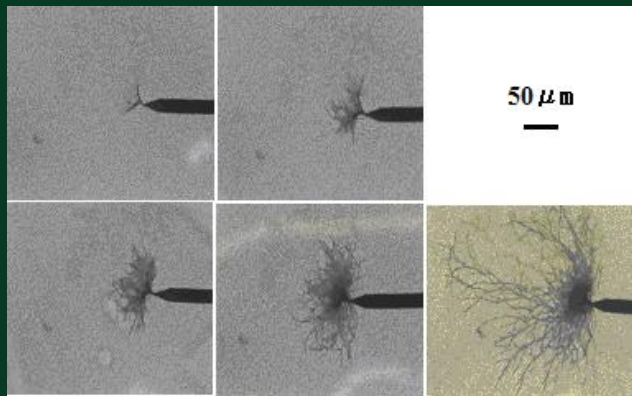
- ◆ 物理因素：电、热、光、机械
- ◆ 化学因素：氧气、臭氧、盐雾、酸碱、潮湿等
- ◆ 生物因素：微生物、霉菌等
- ◆ 机械因素



# 4、绝缘的老化

## 电老化——局部放电

- ◆ 带电质点撞击气泡壁，造成绝缘物分解
- ◆ 化学腐蚀，产生的 $O_3$ 、 $NO$ 、 $NO_2$ 等气体，遇水产生硝酸，对绝缘和金属有氧化和腐蚀作用。



5 kV下HDPE（高密度聚乙烯）树枝的发展

## 4、绝缘的老化

**介质热老化——决定于温度及介质经受热作用的时间。**

为此IEC按照材料的耐热程度划分耐热等级。如

<b>A</b>	<b>E</b>	<b>B</b>	<b>F</b>	<b>H</b>	<b>C</b>
<b>105</b>	<b>120</b>	<b>130</b>	<b>155</b>	<b>180</b>	<b>&gt;180°C</b>

根据绝缘耐热等级可以进行设备运行负荷的最佳经济性设计。

**变压器常用A级绝缘材料：绝缘纸板、变压器油等。**

- ◆ **热老化8度规则**：对A级绝缘介质，如果温度超过规定值的8度，寿命缩短一半。
- ◆ 相应对B级与H级绝缘则分别为10度与12度。

# 小结

1. 组合绝缘特性（直流电压、交流电压）
2. 变压器油纸绝缘、分阶绝缘的电缆
3. 绝缘的老化——电、热