

一、液体电介质的电导

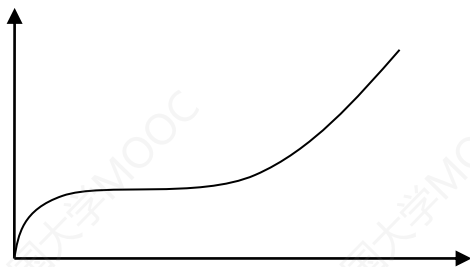
◆液体电介质的电导

纯净液体电介质，电阻率 ρ ： $10^{14} \sim 10^{16} \Omega \cdot m$

工程液体电介质，电阻率 ρ ： $10^9 \sim 10^{13} \Omega \cdot m$

一、液体电介质的电导

液体电介质的电流与电场强度的关系：



极性液体电介质的电阻率较非极性电介质低。

弱场： I — E 呈线性关系，符合欧姆定律。

强场：没有明显的电流饱和现象。

一、液体电介质的电导

强场： I 随 E 呈指数增加。

原因：液体密度大，离子迁移小，并且在液体中离子相遇的机会多，复合几率大，使离子不易全部到达电极形成电流。因此 $E \uparrow, j \uparrow$ ，液体电介质的载流子主要是离子和带电胶粒，液体电导这样就有离子电导和电泳电导（胶粒电导）。

二、液体电介质的离子电导

◆液体电介质中的离子电导

本征离子：液体分子本身解离而产生的离子（强极性液体）。

液体分子解离主要是热解离和外电离因素（包括紫外线、宇宙射线）。

二、液体电介质的离子电导

杂质离子：外来杂质分子或液体的基本分子老化的产物离解而生成的离子。

本征离子电导（漏导）很小，杂质离子是漏导的主要来源。

二、液体电介质的离子电导

液体的特征：

(1) 液体分子间有强烈的相互作用力，分子间的距离接近于固体，因而具有大的凝聚力和小的压缩性，处于凝聚状态。

(2) 液体分子作用力比晶体小，不足以阻止分子间的相对滑移。因此具有流动性，没有固定形状。

二、液体电介质的离子电导

气体完全无序，晶体远程有序，液体介于完全无序和完全有序之间，即近程有序。

在1~3nm内作规则排列。

由于分子间相互强烈的作用，在短暂时间内束缚在一起形成有序结构。

二、液体电介质的离子电导

其间分子在它的平衡位置上作热振动，由于分子热运动的涨落，在某一瞬分子热振动能量足够大，分子就发生了迁移，这就使原来的有序结构被破坏，而在邻近的另一处又形成了短暂的有序结构。并且充满着无数个存在时间短暂的近程有序结构。

二、液体电介质的离子电导

由于分子热运动的涨落，同时又不时地发生迁移破坏这种有序结构。

液体分子、离子要迁移，必须克服相互作用势垒的阻碍，但它们在各个方向迁移的几率相同。

在电场作用下，液体电介质离子在电场方向产生了定向迁移，形成漏导电流。

二、液体电介质的离子电导

1、离子迁移率：离子定向迁移，形成漏导电流。

单位体积中单位时间内沿电场E方向迁移的载流子数 Δn

$$\Delta n = \frac{n}{6} \nu [e^{-(U-\Delta U)/KT} - e^{-(U+\Delta U)/KT}]$$

n 为单位体积中离子数。

ν 为离子在平衡位置的振动频率。

二、液体电介质的离子电导

在弱场作用下 $e^{\pm \Delta U / KT} \approx 1 \pm \Delta U / KT$ $\Delta U = q\delta E / 2$

$$\Delta n \approx \frac{nq\delta v}{6KT} e^{-U/KT} E$$

δ 为离子每次迁移的平均迁移距离。

$\delta \Delta n$ 为n个载流子在电场方向单位时间内迁移的距离。

二、液体电介质的离子电导

1个离子在电场方向宏观
平均漂移速率

$$v = \frac{\delta \Delta n}{n} = \frac{q \delta^2 v}{6KT} e^{-U/KT} E$$

迁移率 $\mu = \frac{v}{E} = \frac{q \delta^2 v}{6KT} e^{-U/KT}$

约 $10^{-6} \sim 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s} \cdot v$

二、液体电介质的离子电导

通过测量不同温度下离子的迁移率可求得势垒 U 。

一般而言，液体中，本征离子的势垒大于杂质离子的势垒。

二、液体电介质的离子电导

2、离子电导率与温度关系：

离子电导率：
$$\gamma = nq\mu = \frac{nq^2\delta^2}{6KT} ve^{-U/KT}$$

由于温度的影响，其指数部分远大于分数部分，故把分数部分近似看成与温度无关的常数。

二、液体电介质的离子电导

$$\gamma = Ae^{-B/T} \quad A = \frac{nq^2 \delta^2 \nu}{6KT} \quad B = U/K$$

$T \uparrow, \gamma \uparrow$, 工程上用摄氏温标 t 表示。

$$\gamma = Ae^{-B/273+t} = Ae^{-B(273-t)/273^2-t^2}$$

温度不高时 $t^2 \ll 273^2$

$$\gamma \approx Ae^{-B(273-t)/273^2} = Ae^{-\frac{B}{273} + \frac{B}{273^2}t}$$

$$\gamma = Ce^{at} \quad C = Ae^{-\frac{B}{273}} \quad a = B/273^2$$

二、液体电介质的离子电导

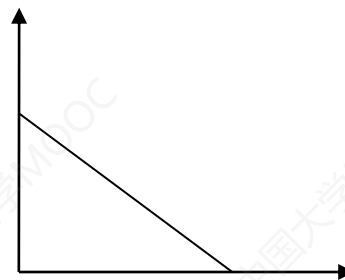
考虑到杂质离子的电导 $\gamma = A_1 e^{-B_1/T} + A_2 e^{-B_2/T}$

A_1 、 B_1 和 A_2 、 B_2 为本征离子电导和杂质离子电导的有关常数。

对于工程液体电介质，本征离子的迁移势垒 U 比杂质离子的迁移势垒大很多，杂质离子电导往往占主导地位。

二、液体电介质的离子电导

$$\ln \gamma = \ln A - \frac{B}{T}$$



为一条直线，有些液体为两条直线构成。

三、电泳电导

◆电泳电导（尘埃、气泡、水份、液滴及固体杂质颗粒）

线度在 $1\sim 100\text{nm}$ 范围内的颗粒悬浮在分散液体介质中成为胶粒。

加电场以后，胶粒沿电场方向漂移，形成电流，称电泳电导，或胶粒电导。

三、电泳电导

胶粒是带电的，与胶粒所带电荷数量相等，符号相反的异号离子，构成双电层——扩散的双电层模型。

三、电泳电导

电泳电导 $\gamma = nq\mu = \frac{8\pi n \varepsilon_0^2 \varepsilon_r^2 r \xi^2}{3} \frac{1}{\eta} = b \frac{1}{\eta}$

b 近似于温度无关。

$$\eta = ae^{U/KT}$$

$$T \uparrow, \gamma \uparrow$$

$$\gamma = Ae^{-B/T}$$

$$r\eta = b$$

三、电泳电导

电泳电导 γ 与液体粘度系数 η 乘积
与温度无关——华尔顿定律。

本征离子电导率也服从华尔顿定律。

杂质离子电导率不服从华尔顿定律。

三、电泳电导

液体电介质击穿的两个条件：初始电子的存在，足够高的电场。

这两个条件促使碰撞电离过程能不断地发生和增长，直至贯穿电极间的液体，同时诸多外界因素对击穿有很大影响。

三、电泳电导

外界因素对击穿过程和击穿电压的影响：

- (1) 溶解气体的影响
某些溶解的气体对液体电介质的击穿强度有重大影响。
- (2) 压力的影响
液体击穿场强与压力有关。

三、电泳电导

(3) 电极的影响

电极面积的影响，击穿强度随电极面积增加而减小。

电极材料与表面状态的影响。

(4) 潮气的影响

液体介质中含有水分时，击穿场强显著下降。