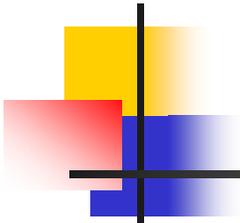


电导测试原理及应用

厦门沃泰科技有限公司

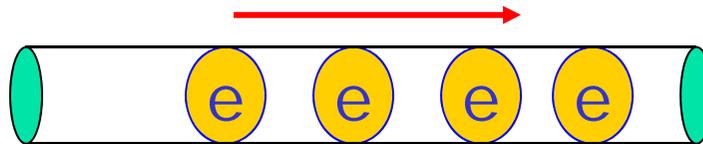


背景知识

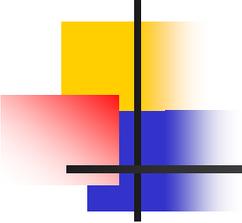
- 何为电导率？
电导率是物质的固有属性之一，是衡量物质导电能力的一个指标。
- 与电阻率的关系
通常用电阻率来衡量金属的导电能力，用电导率来衡量溶液的导电能力，也可用来衡量水的清洁程度，即水越纯，电导率越低。

导电因子

- 金属靠自由电子导电，电子以光速移动，导电能力强

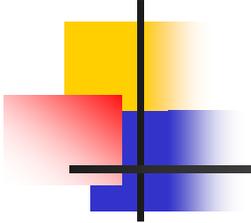


- 溶液是靠溶解在水中的离子导电，移动速度较慢



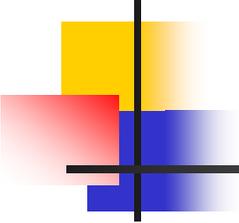
影响因素

- 离子移动速率
(离子粒径、水合离子、溶液粘度及温度)
- 离子数目(完全电离和不完全电离)
- 离子所带电荷
(通常高价离子个头也大，效果抵消)
- 溶液浓度
(浓度太高会限制离子的移动)



各种水溶液的电导率

电导率	溶液	NaCl	HCl
0.055 uS/cm	超纯水		
1 uS/cm	去离子水	0.4 mg/l	0.08 mg/l
50 uS/cm	雨水	23 mg/l	4 mg/l
500 uS/cm	饮用水	240 mg/l	44 mg/l
5 mS/cm	工业废水	2.6 g/l	450 mg/l
50 mS/cm	海水	30 g/l	4.7 g/l
500 mS/cm			61 g/l



理论依据

- 测试金属电阻理论依据：

$$R=p \cdot (L/S)$$

R:电阻

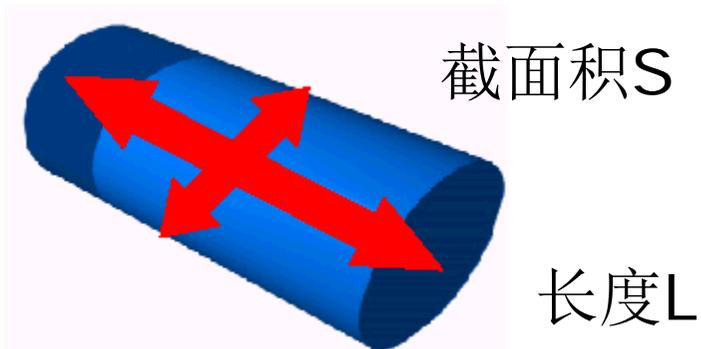
p:电阻率

l:金属丝长度

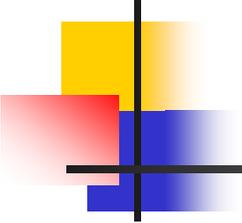
S:金属横截面积

理论依据

- 电导即电阻的倒数：
 $C=Y \cdot (L/S)=K \cdot Y$
Y:电导 C:电导率



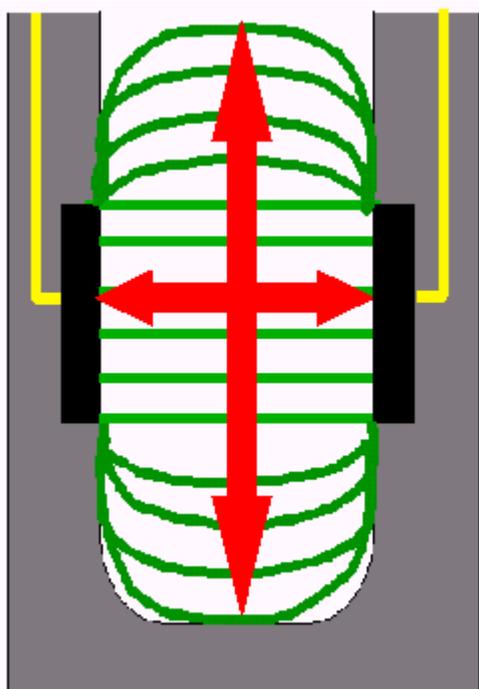
K:电极常数，定义 $K=L/S$
因此，只要测出电导就可测试电导率!



测试单位

- 电阻单位：欧姆 Ω
电导单位：姆欧，也称西门子S
- 电导率单位：uS/cm
相当于： $M\Omega \cdot cm$ (电阻率)
 $1 \text{ mS/cm} = 1000 \text{ uS/cm}$
- 电极常数单位：
 $K=L/S, \text{ cm}^{-1}$

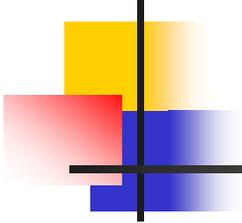
电极构造



定义电极常数
 $K=L/S$

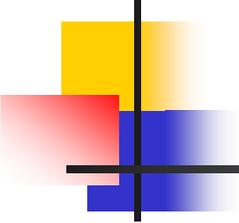
L:两极板之间的距离

S:极板表面积
=电场表面积



电极常数

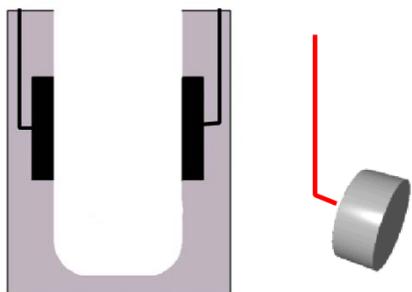
电极常数K	测试量程 (两极式)	测试量程 (四极式)
0.01/cm	<20 uS/cm	---
0.1/cm	0.01 uS/cm to 200 uS/cm	---
0.1 ... 1/cm	---	10 uS/cm to 3 S/cm
1/cm	10 uS/cm to 20 mS/cm	---
10/cm	100 uS/cm to 200 mS/cm	---



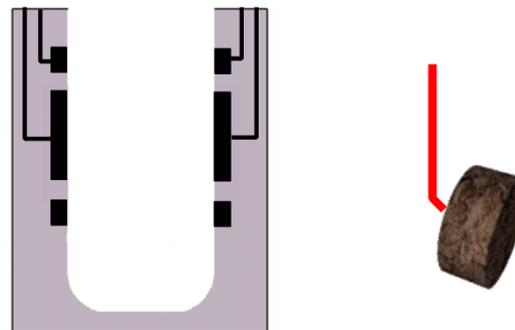
电极种类

- 两极式
(一对感测极，测试电流)
- 四极式
(两对感测极，分别测试电流和电压)
- 内置温度探头

测试原理图

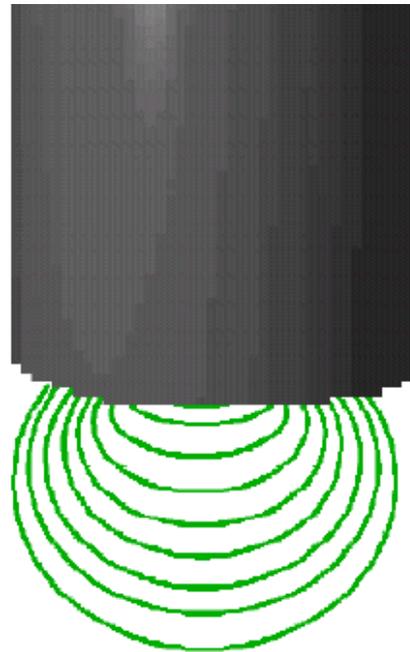
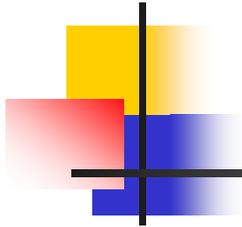


两极式
极板材质为不锈钢



四极式
极板材质为石墨

特殊类型



■ 杂散电场式

特点：感测极位于电极体的表面

应用：在线监测

优点：自我清洗

缺点：必须保证最小的间隔

材质



- 玻璃/白金组合

电极体：玻璃

感测极：白金片

应用： <200 uS/cm(两极式)
>1 uS/cm(四极式)

优点：耐化学腐蚀，耐高温
(有机溶剂、400℃)

材质

- 环氧树脂/石墨组合

电极体：环氧树脂

感测极：石墨

应用： $>1 \text{ uS/cm}$ (四极式)

优点：牢固耐用，清洗容易



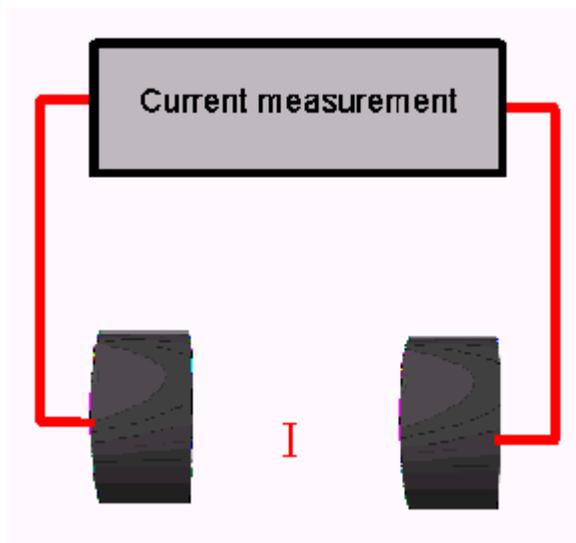
材质



- 不锈钢合金组合
电极体：不锈钢合金
感测极：不锈钢合金
应用： $<200 \text{ uS/cm}$ ($K=0.1/\text{cm}$)
 $<20 \text{ uS/cm}$ ($K=0.01/\text{cm}$)
优点：牢固耐用，清洗容易
适于测试纯水

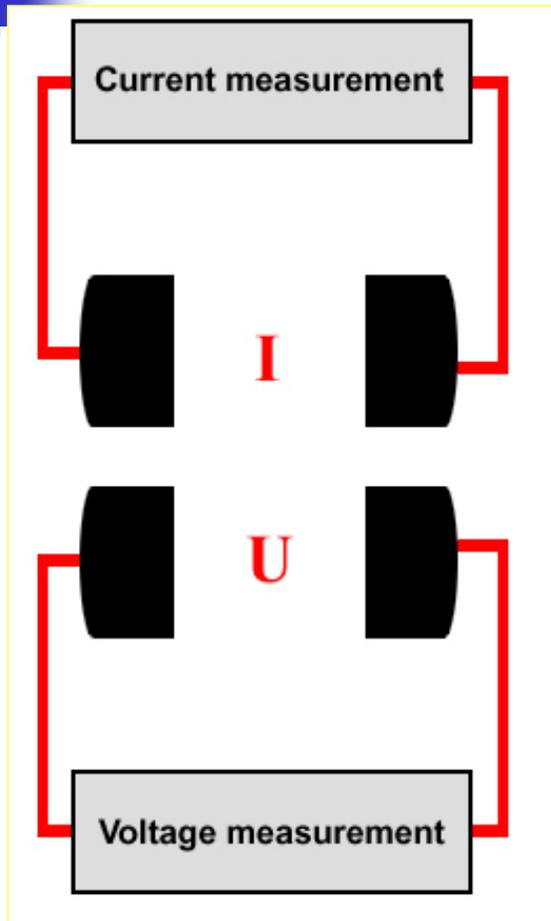
两极式测试技术

测试信号：电流



当在两极板之间加上电压后，将有电流流过待测样品。

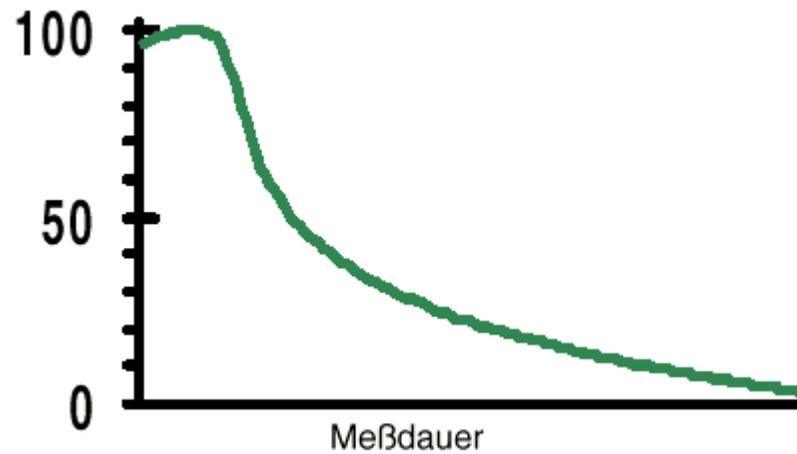
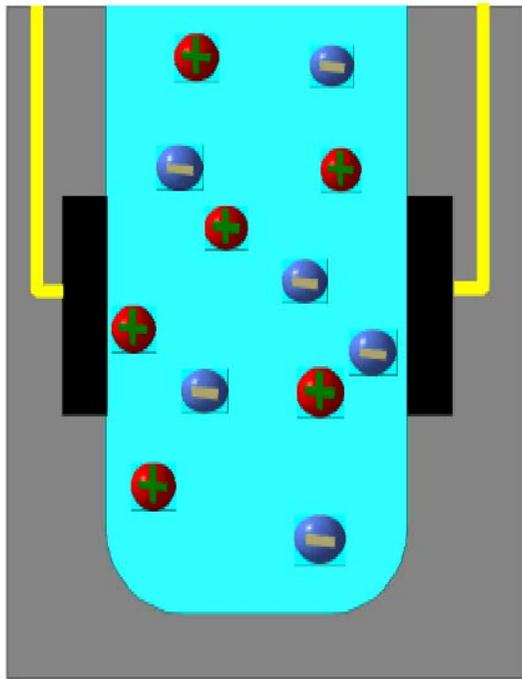
四极式测试技术



测试信号：电流和电压

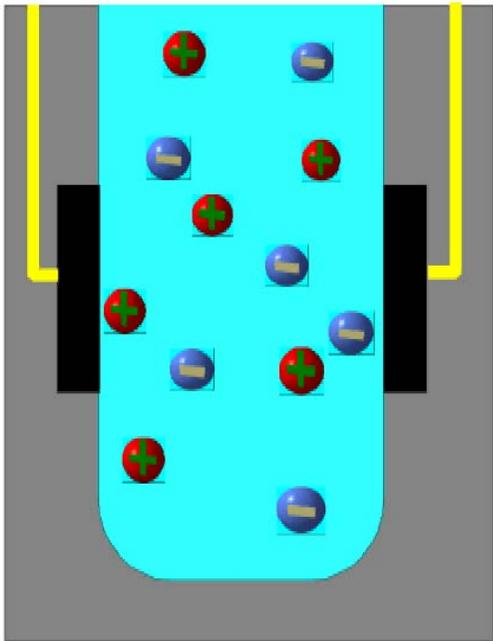
同时感测电流和电压，其中电压信号为反馈信号，以提高测试的稳定性和可靠性，抗干扰能力强。

供电电压



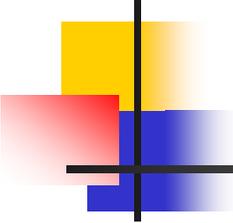
- 直流电压
导致极化
只有瞬间电流!不可行!

供电电压

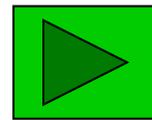
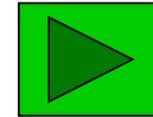


- 交流电压

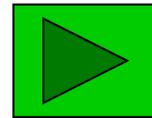
避免瞬间极化!



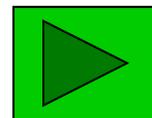
电极感测信号影响因素



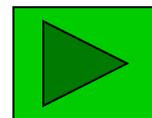
电流密度



电抗

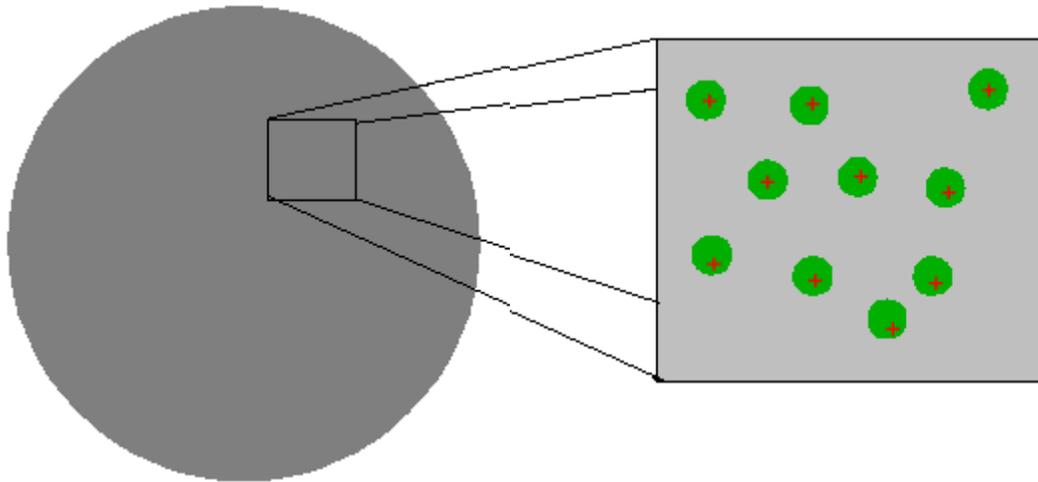
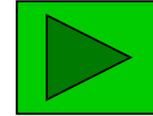


极化



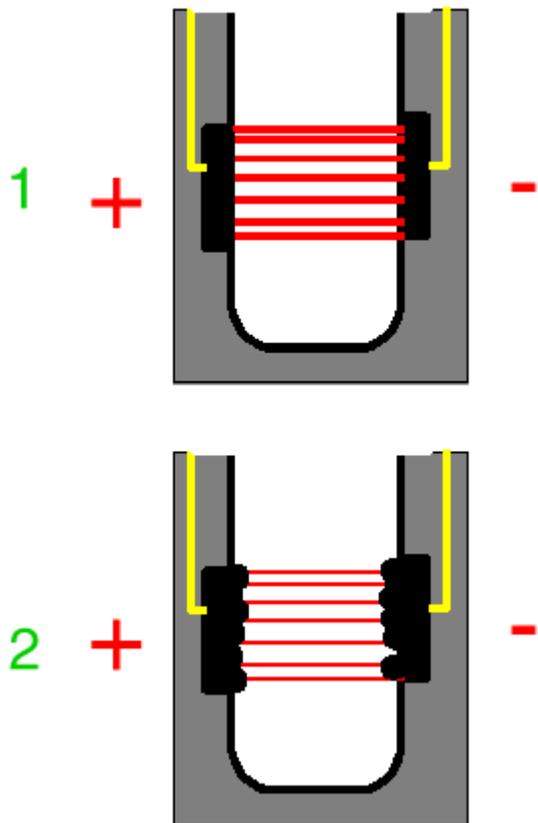
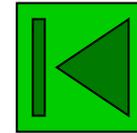
沾污

电流密度



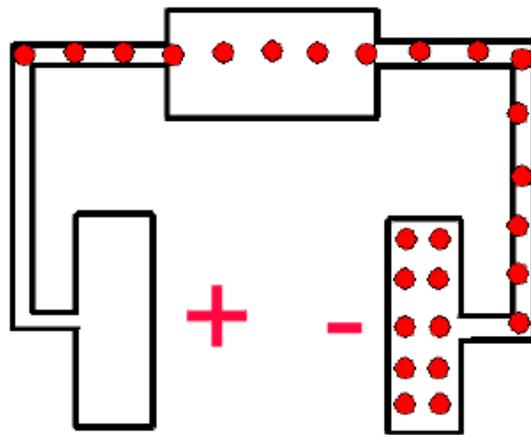
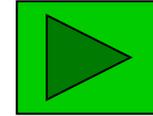
- 单位面积的电荷数
- 测试越高的电导率，要求的电流密度越小

电流密度

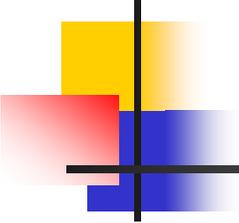


- 加在两极板之间的电压越大，电流密度也越大
 - 表面积越大，电流密度越小
1. 表面光滑，电流密度大，适于低量程
 2. 表面粗糙，电流密度小，适于高量程

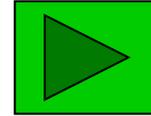
电抗来源



- 极板和电缆线相当于一个电容器
- 在交流电的作用下，产生容抗
- 电磁效应产生感抗

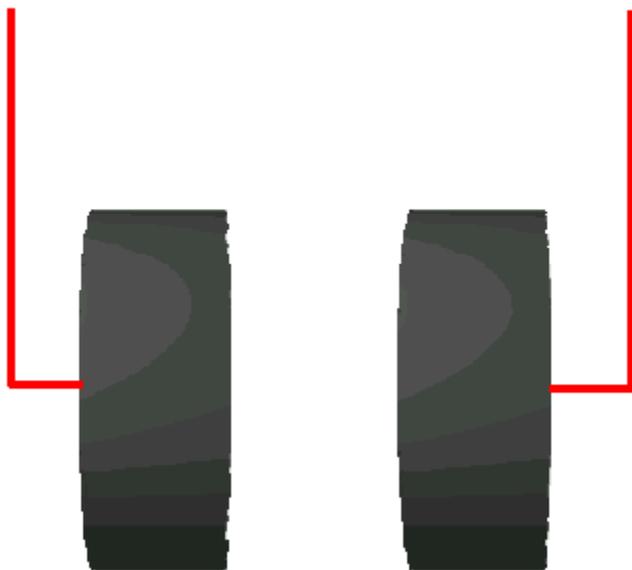
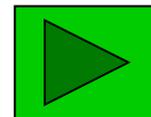


电抗



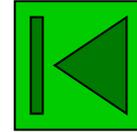
- 测试系统的总电抗=容抗+感抗
- 测试系统的总阻抗=总电抗+总欧姆电阻
- 电抗大小跟频率成正比
- 电抗来源：
 电缆线、感测极和样品
- 电导率越大，电抗的影响越小

电抗



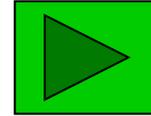
- 极板面积越大，容抗也越大
- 电缆越长，容抗越大

电抗补偿措施



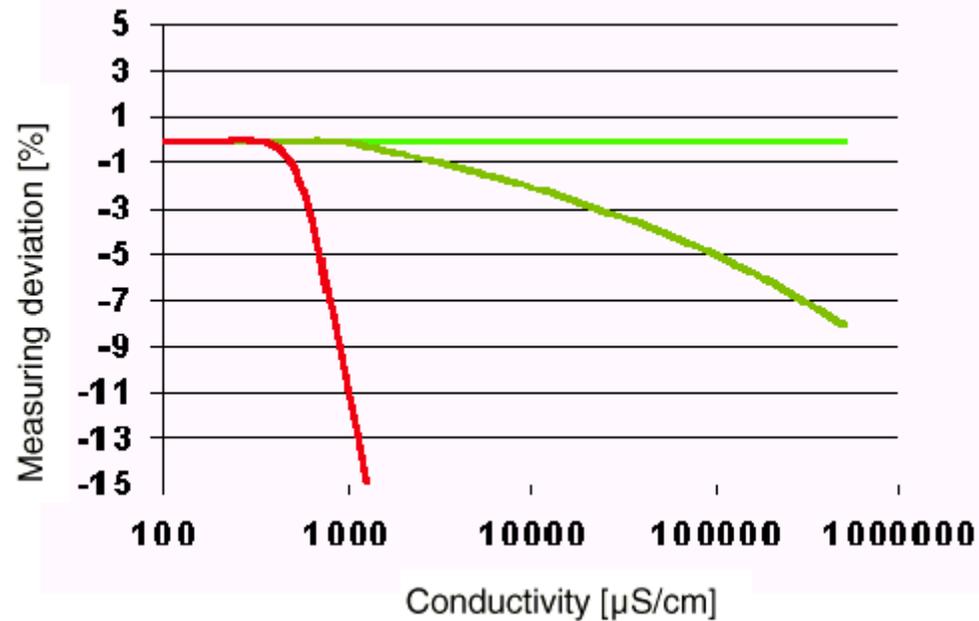
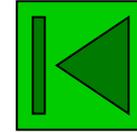
- 采用4极式测试电极
- 测试低电导率时，加大极板表面积，减少频率
- 电缆长度对测试的影响
高电导率时，电阻影响
低电导率时，容抗影响
因此，只有4极式的电极才具有的电缆，
距离可达100米

极化



- 极化来源于样品的电抗
(产生于极性改变时)
- 电导率越大，极化影响越大
- 如何减少极化的影响？
提高频率，减少电流密度(减少电压或选粗糙的极板)
- 由于极化影响，两极式的电极不适于高量程测试，适于测试低量程且测试范围小

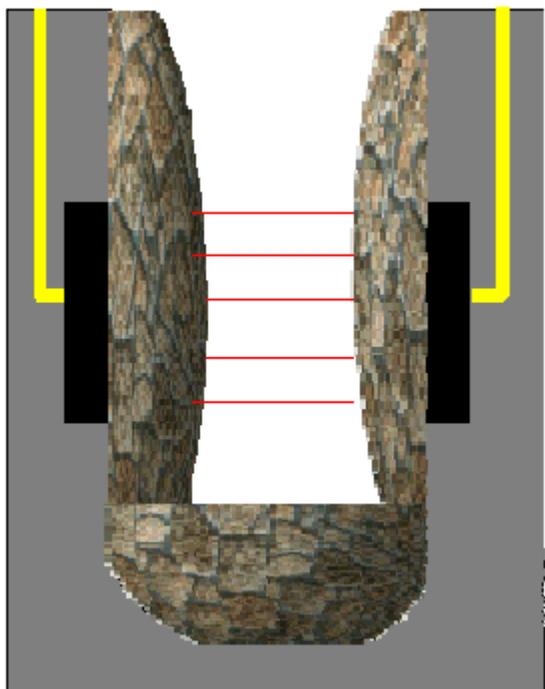
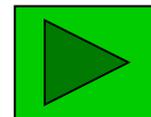
极化



1. 四极式电极
2. 两极式电极, $K=1/\text{cm}$
3. 两极式电极, $K=0.1/\text{cm}$

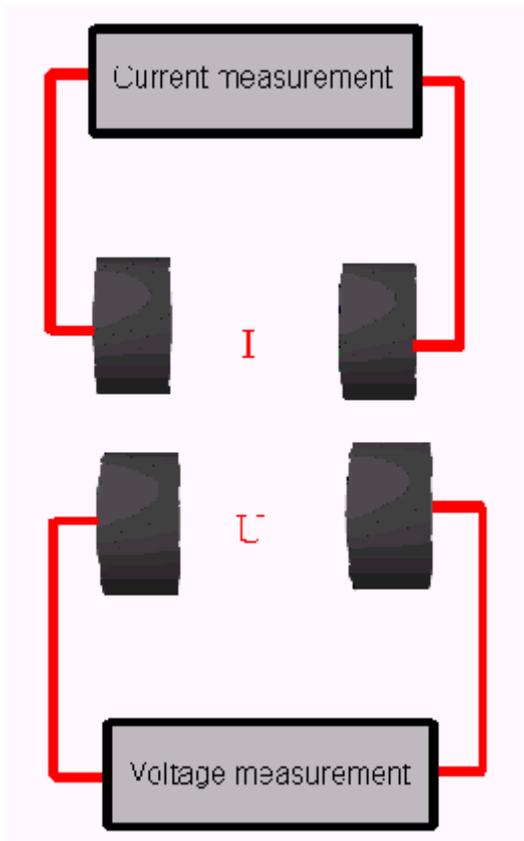
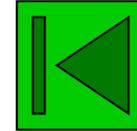
四极式电极几乎
不受极化影响!

沾污



- 电阻
电导率越大，沾污的影响也越大!
- 体积
污染物会排掉一部分的水样!
- 极板表面变得粗糙不光滑

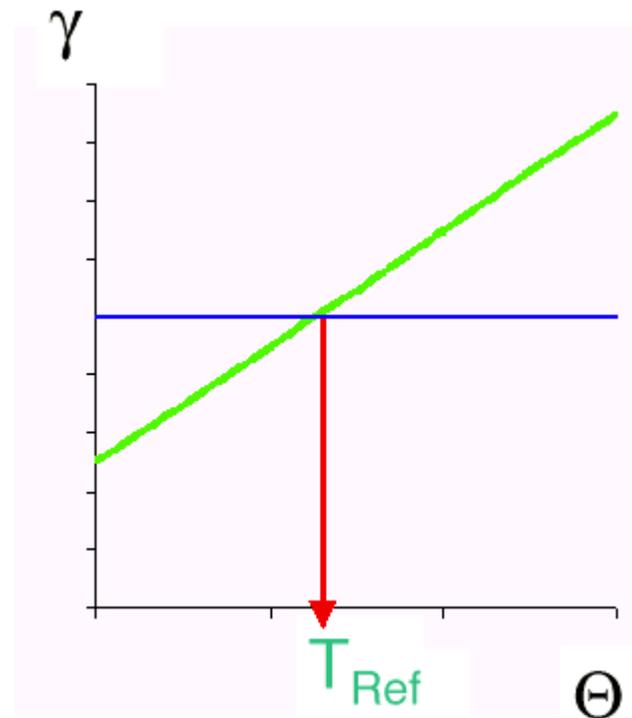
沾污

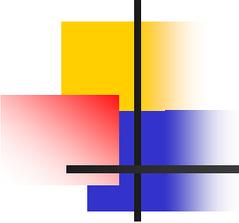


- 四极式测试技术
 - 不受电阻影响
 - 不受表面积影响
 - 只受体积影响
- 两极式测试技术
 - 受电阻影响
 - 受表面积影响
 - 受体积影响

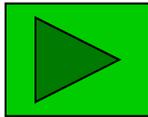
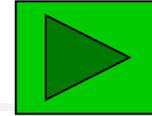
温度补偿

- 样品本身的电导率与温度有关!
- 与pH不同，通常仪表显示的是参考温度下的电导率!
- 参考温度：**20°C或25°C**

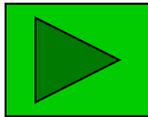




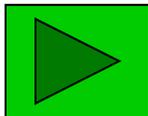
补偿方式



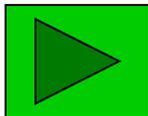
线性补偿



非线性补偿nLF

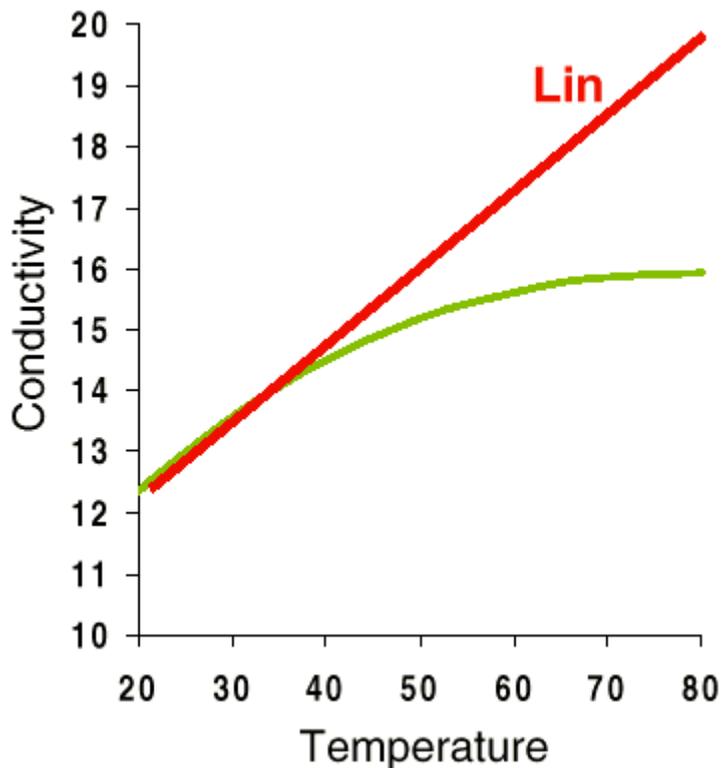
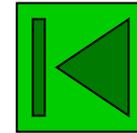


超纯水温度补偿



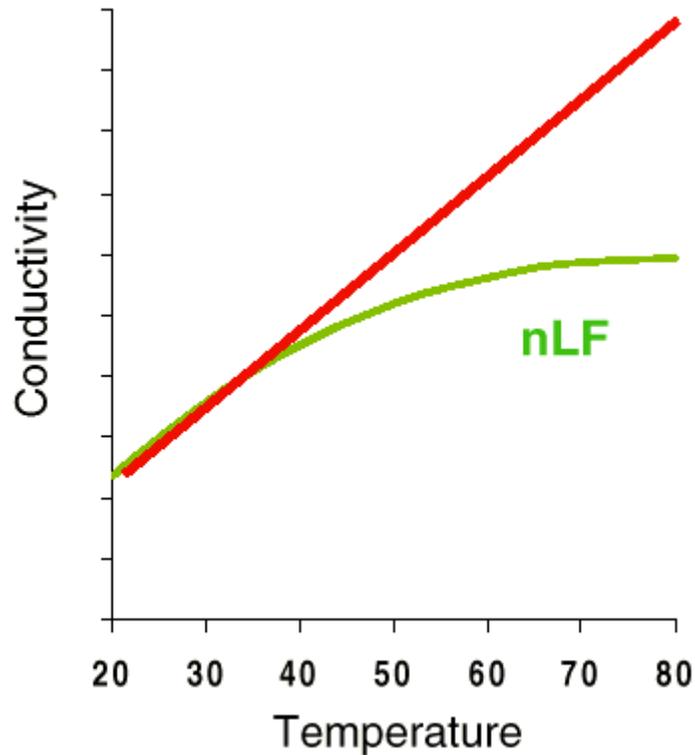
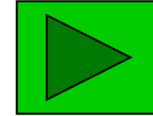
不补偿

线性补偿



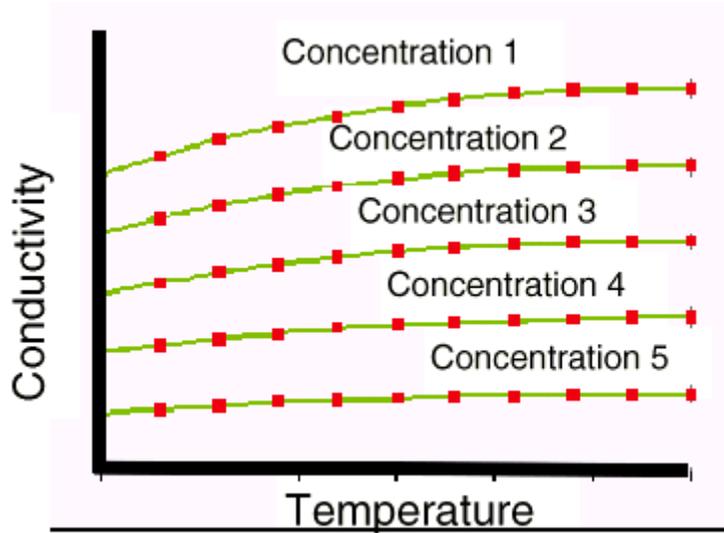
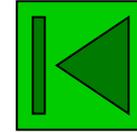
- 前提是要输入温度系数
- 通常温度在参考温度±10K内
- 只针对特殊的溶液

非线性补偿



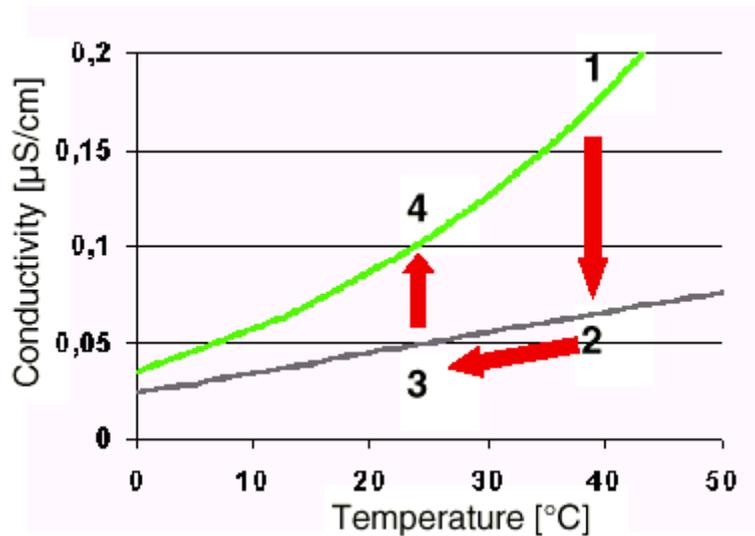
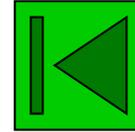
- 针对天然水，如
 - 饮用水
 - 地下水
 - 地表水
 - 污水
- 适用温度范围广

非线性补偿



- 适用于不同浓度的：
 - 酸
 - 碱
 - 盐
- 适用温度范围更广

超纯水温度补偿

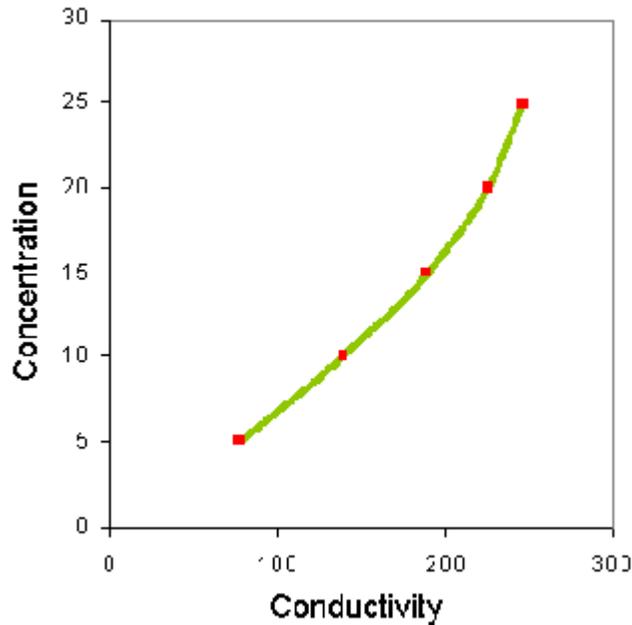


- 针对超纯水，尤其是电导率 $<1 \text{ us/cm}$

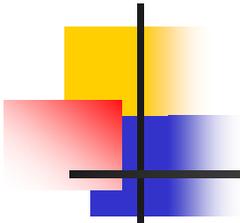
1. 当前温度下的测试值
2. 当前温度下的理论值

3. 参考温度下的理论值
4. 参考温度下的测试结果

浓度测试



- 利用在一定范围内浓度与电导率成线性关系原理来测试浓度
- 通常测试特殊化学成分的浓度!
- 浓度大到一临界点后电导率反而下降



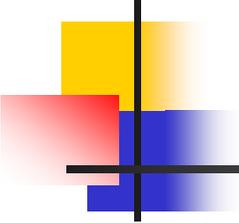
电极保养

■ 清洗

- 油脂：温水加有洗剂剂
- 无机盐：**10%柠檬酸**
- 顽垢：机械刮擦，化学清洗(镀铂型)

■ 保存

- 干式保存：石墨、白金片、不锈钢型
- 湿式保存：用蒸馏水(镀铂型)
- 镀铂型**严禁**干式保存!



检验电极

量程	电极材质	检验否	标准液
≤ 2 uS/cm	钢或铂	NO	去离子水(1-10 uS/cm)
≤ 200 uS/cm	钢或铂	YES	0.001 mol/l KCl
	镀铂或碳	YES	0.01 mol/l KCl
≤ 2 mS/cm	铂, 镀铂或石墨	YES	0.01 mol/l KCl
≤ 300 mS/cm	铂或石墨	YES	3 mol/l KCl
≥ 300 mS/cm	铂或石墨	YES	

检验主机



■ 输入标准电阻