

perfectION™ 指尖手册

**perfectION™**

复合氟离子电极  
成功的离子测量



**METTLER TOLEDO**

# 目录

## 目录

<b>1. 简介</b>	<b>1</b>
<b>2. 所需设备</b>	<b>2</b>
<b>3. 电极与测量设置</b>	<b>4</b>
电极准备	4
检查电极性能(斜率)	6
样品要求	7
测量提示	8
电极保存与维护	10
逐级稀释	13
<b>4. 分析方法</b>	<b>14</b>
直接校准法	16
低浓度校准法	20
已知增量法	22
滴定法	28
酸性溶液中氟离子测量	30
碱性溶液中氟离子测量	32
<b>5. 电极特性</b>	<b>34</b>
电极响应时间	34
重复性	35
检测限	35
温度的影响	36
干扰物	37
pH 的影响	38
络合剂	39
测量理论	39
<b>6. 问题解答</b>	<b>42</b>
问题列表	44
<b>7. 订货信息</b>	<b>45</b>
<b>8. 电极参数</b>	<b>47</b>

简介

所需设备

电极与测量设置

分析方法

电极特性

问题解答

订货信息

电极参数



## 1. 简介

此操作手册包括了氟离子选择性电极 (ISE) 的准备、操作和维护。同时介绍了分析方法、电极特性和测量理论。氟离子电极可快速、简单、精确、经济地测量水溶液中氟离子的浓度。

### **perfectION™ 复合氟离子选择性电极**

参比电极和指示电极整合在一支电极中，复合电极只需较少的溶液体积，并减少了废弃物的产生。内置的Click & Clear™ 参比液络部避免了隔膜的堵塞并提供快速、稳定的读数。

perfectION™ 复合氟离子选择性电极提供含BNC接头(P/N 51344715)和适用于梅特勒-托利多滴定仪的Lemo接头(P/N 51344815)两款电极。

## 2. 所需设备

1. 梅特勒-托利多离子计, 例如台式仪表SevenMulti™ 或便携式仪表SevenGo pro™。梅特勒-托利多滴定仪, 例如Tx超越系列(T50, T70, T90)或G20紧凑型滴定仪

梅特勒-托利多复合离子选择性电极适用于配有BNC接头的任意品牌离子计。

2. perfectION™ 复合氟离子选择性电极
3. 搅拌器
4. 容量瓶、量筒、烧杯、移液器。测量氟离子建议使用塑料实验器皿
5. 蒸馏水或去离子水
6. 离子参比液 A (P/N 51344750)
7. 氟离子标准液 1000 mg/L (P/N 51344775)
8. 总离子强度调节剂 (TISAB), 提供稳定的背景离子强度, 分解氟化物和调节溶液 pH

订货号.	描述
51344765	TISAB II 含 CDTA, 3.8 L/瓶
51344766	TISAB III (高浓度)含 CDTA , 475 mL/瓶

*注意: TISAB III 和 TISAB II 配方相同。TISAB III 比TISAB II 浓度高, 所以加入样品或标准液中的比例不同。*

## 低浓度 TISAB

低浓度TISAB不含络合剂，比TISAB II和TISAB III含量低，所以离子强度调节作用更弱。低浓度TISAB应用于测量低浓度的氟离子样品，能增强电极的性能，并且不含干扰物质。测量氟离子含量小于0.4 mg/L ( $2 \times 10^{-5}$  mol/L) 并且不含铁或铝离子等氟化物络合剂的样品溶液，需要使用低浓度的TISAB。

配制低浓度TISAB: 量取500 mL 蒸馏水至1L的烧杯中。加入57mL的冰醋酸和58g试剂级氯化钠至烧杯中。把烧杯放置水浴中冷却。再在烧杯中浸入已校准的pH电极，缓慢滴加5 mol/L NaOH 调节pH为5.0至5.5之间。溶液冷却至室温，然后倒入1L的容量瓶中，用蒸馏水稀释至刻度线。必须使用纯度尽可能高的试剂，确保溶液中氟离子浓度最低。

## TISAB IV

TISAB IV 能络合1mg/L氟离子溶液中超过100 mg/L 的铁或铝离子。1mg/L的氟离子溶液中若含有200 mg/L的铁或铝离子，会引起5%的误差。

配制TISAB IV: 量取500 mL蒸馏水至1L容量瓶中。加入84 mL 浓 HCl (36至38 %), 242g TRIS (三羟甲基氨基甲烷) 和239g酒石酸钠( $\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )至容量瓶中。搅拌溶解固体后，溶液冷却至室温。用蒸馏水稀释至刻度线。

与TISAB II 使用方法相同: 测量前，混合等体积的TISAB IV和样品或标准液。

## 3. 电极与测量设置

### 电极准备

移去敏感部件处的运输保护帽，并妥善保存保护帽。填充离子参比液 A。

#### 填充参比液指导：

1. 把瓶嘴安装在填充液瓶子上，打开瓶嘴使其竖直。
2. 把瓶嘴插入电极上的填充孔中，加入少量的参比液。倒转电极润湿O型圈，再把电极恢复至竖直位置。
3. 一只手握住电极杆，用拇指按下电极帽，可排出几滴填充液。
4. 松开电极帽。如果电极外壳无法恢复原位，检查O型圈是否已湿润，并重复第2步至第4步，直到电极外壳恢复到原位。
5. 向电极填充孔加入填充液。

*注意：每天使用前加入填充液。填充液的液面应至少比烧杯中样品的液面高出2.5cm，确保适当的流速。测量过程中应打开填充孔。*

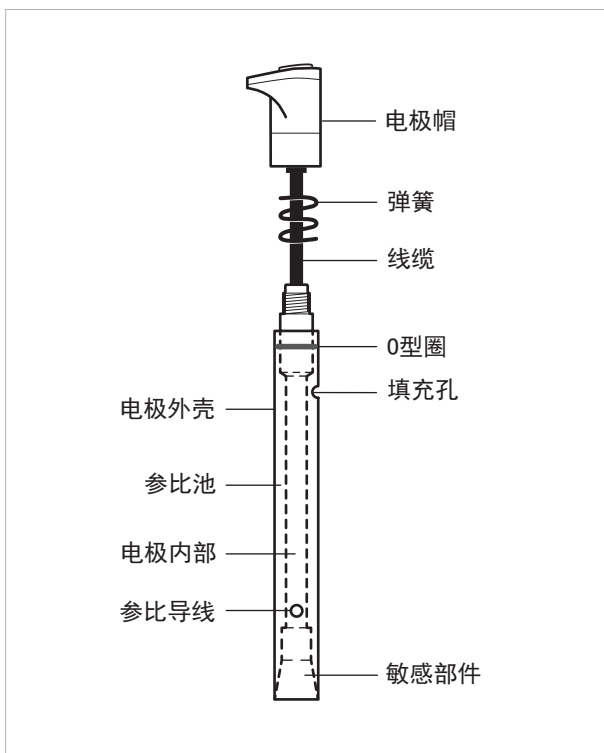


图 1 - perfectION™ 复合氟离子电极

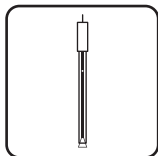


## 检查电极性能 (斜率)

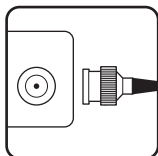
可以通过最常规的方法，判断电极的性能。

按照步骤测量电极的斜率。斜率是指离子浓度每改变10倍相应电位值所改变的数值。斜率数值是判断电极性能的最有效方法。

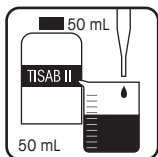
1. 如果电极干燥存放，按照**电极准备**章节描述，处理电极。



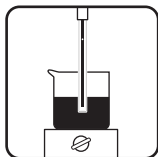
2. 连接电极和仪表。  
仪表切换至mV模式。



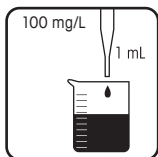
3. 移取50mL蒸馏水和50mL TISABII至150mL烧杯中，充分搅拌。如果使用TISABIII，移取90 mL蒸馏水和10mL TISAB III至150mL烧杯中，充分搅拌。



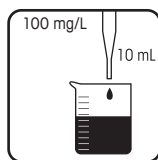
4. 用蒸馏水冲洗电极，用纸巾吸干水分。  
把电极浸入步骤3所准备的溶液中。



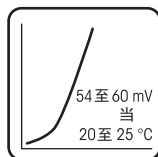
5. 选择0.1 mol/L氯化钠或  
100 mg/L氟离子标准液。  
移取1 mL 标准溶液至烧杯中，充分搅拌。  
当读数已稳定，  
记录电位值 (mV)。



- 
6. 移取10 mL 相同的标准液置于同一个烧杯中，充分搅拌。当读数已稳定，记录电位值 (mV)。



- 
7. 溶液的温度在20至25 °C时，两个电位值相差54至60mV。如果电位值差不在规定范围内，查阅**问题解答**章节



## 样品要求

氟离子电极外壳的材质是环氧树脂，能抵抗无机溶液的腐蚀。电极能间歇应用于含甲醇、苯或丙酮的溶液。

样品和标准液应该处于同一温度下。溶液的温度必须低于100°C。

所有的分析步骤中，样品和标准液在测量前必须加入ISA。

## 测量提示

氟离子测量的浓度单位有摩尔每升(mol/L)、毫克每升(mg/L)等浓度单位。

表 1 - 氟离子浓度单位的转换因子

摩尔/升 (mol/L)	毫克/升 氟离子 (F)
1.0	19000
$10^{-1}$	1900
$10^{-2}$	190
$10^{-3}$	19
$10^{-4}$	1.9

- 当选择了TISAB II 或 TISAB III, 所有的样品溶液和标准液中必须加入TISAB, 这样TISAB对溶液的稀释比例相同。每50mL的标准液或样品中加入50mL的TISAB II。每90mL的标准液或样品中加入10mL的TISAB III。
- 以相同的搅拌速度搅拌标准液和样品。
- 使用新鲜的标准液进行校准。
- 测量间隔用蒸馏水冲洗电极, 甩动电极除去水滴, 避免样品的交叉污染。不要用力刮擦电极敏感部件。
- 为了更精确的测量, 标准液和样品必须处于同一温度下。
- 为了防止磁力搅拌器产生的热量引起样品测量的误差, 可放置小片绝缘材料于磁力搅拌器和烧杯之间, 如聚苯乙烯泡沫塑料或纸板等。
- 每隔两小时校验电极。把电极浸入新鲜的浓度最小的校准标准液中。如果读数超出 2%, 需要重新校准电极。
- 电极浸入溶液中, 检查电极敏感表面是否有附着的气泡。电极反复浸入溶液中, 可除去气泡。

- 对离子强度较高的样品，配制与样品背景成份相似的标准液。
- 加入TISAB之前，调节强酸或强碱溶液PH值至5 - 6。
- 测量时应打开填充孔，确保参比液流速稳定。
- 若氟离子电极测量过较脏、粘稠样品或电极响应缓慢，需排空电解液，保持液络部打开，用蒸馏水冲洗。排空电极中残留的液体，重新填充新鲜的参比液。按下电极帽待电解液滴出，松开电极帽，再填充足够量的电解液。
- 校准和测量时，从低浓度的标准液或样品开始。

## 电极保存与维护

### 电极保存

电极测量间隔和一周内，可保存在含氟离子的4 mol/L氯化钾溶液中。保存液中的氟离子浓度应该与浓度最低的氟离子校准标准液浓度相近。保存液中不可加入TISAB。避免电极中的填充液蒸发，否则会导致结晶的形成。

若电极保存超过一周，需排干电极内部溶液，用蒸馏水冲洗参比池。装上敏感部件保护帽，电极干燥保存。

### 抛光复合氟离子电极的敏感表面

固态电极的敏感表面会慢慢老化，造成漂移、重复性差、低浓度样品响应时间长等现象。使用附带的抛光条抛光敏感表面，可修复电极。同样，敏感表面被腐蚀或受到化学物污染，也可用抛光条抛光。

1. 剪下2.5cm长的抛光条。
2. 握住电极，敏感表面朝上。
3. 用几滴蒸馏水湿润敏感表面。
4. 抛光条粗糙的一面朝下，轻轻压住敏感表面。
5. 旋转电极约30秒。
6. 用蒸馏水冲洗电极，然后把电极浸泡在1 mg/L或 $10^{-4}$  mol/L的氟离子标准液中10分钟。

## 冲洗复合氟离子电极

如果电极外壳和内部锥形敏感部件接触区域被样品或沉淀物堵塞，使用参比填充液或蒸馏水冲洗该区域。

1. 一只手握住电极，用拇指按下电极帽，直到参比池内电解液排干。
2. 向电极中加入蒸馏水，按下电极帽，直到参比池中蒸馏水排干。
3. 加入新鲜的参比液至填充孔中。按下电极帽滴出若干填充液，然后再填充失去的填充液。

## 拆卸和安装复合氟离子电极

**注意：** 除非进行彻底清洁电极，否则无需拆卸电极。

1. 倾斜电极使填充液湿润电极的O型圈。用手握住电极杆，拇指按下电极帽，排干参比池。
2. 逆时针旋开电极帽，电极帽和弹簧沿电缆线滑下。
3. 一只手握住电极外壳，另一只手的拇指和食指捏住内电极体的螺纹处，用力推出内电极。
4. 用干净的无绒软布捏住敏感部件，轻轻旋转将内电极体从电极外壳中退出。请勿接触内电极体上的参比小球，否则会损坏电极的参比部分。用蒸馏水清洗电极外壳的内外表面，放置空气中自然干燥。
5. 用数滴填充液湿润O型圈。电极有螺纹的一端插入锥形电极外壳。
6. 将内电极体慢慢地旋转推入电极外壳，直到敏感部件的表面与电极外壳齐平。
7. 装上弹簧并旋紧电极帽，添加填充液即可。

## 逐级稀释

配制标准液最好的方法是采用逐级稀释。逐级稀释指使用容量瓶稀释初始配制的标准液，得到第二个标准液。再稀释第二个标准液，配制得到第三个标准液。以此类推，直到获得所需要的标准液。

1. **配制100 mg/L氟离子标准液** – 移取10 mL的1000 mg/L 标准液至100mL的容量瓶中。用去离子水稀释至刻度线，并充分混匀。
2. **配制10 mg/L标准液** – 移取10 mL的100 mg/L 标准液至100mL的容量瓶中。用去离子水稀释至刻度线，并充分混匀。
3. **配制1mg/L标准液** – 移取10 mL的10 mg/L 标准液至100mL的容量瓶中。用去离子水稀释至刻度线，并充分混匀。

使用下列公式配制各种浓度标准液:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$C_1$  = 初始标准液浓度

$V_1$  = 初始标准液体积

$C_2$  = 稀释后的标准液浓度

$V_2$  = 稀释后的标准液体积

例如，使用100 mg/L的氟离子标准液，配制100 mL的1 mg/L 氟离子标准液:

$C_1$  = 100 mg/L 氟离子

$V_1$  = 未知

$C_2$  = 1 mg/L 氟离子

$V_2$  = 100 mL

$100 \text{ mg/L} * V_1 = 1 \text{ mg/L} * 100 \text{ mL}$

$V_1 = (1 \text{ mg/L} * 100 \text{ mL}) / 100 \text{ mg/L} = 1 \text{ mL}$

配制1mg/L的氟离子标准液: 移取1mL 的100 mg/L 氟离子标准液至100mL的烧杯中，用去离子水稀释至刻度线，并充分混匀。



## 4. 分析方法

测量可以运用很多种分析方法。下面分别介绍各种方法。

**直接校准法** 步骤简单,适用于测量大多数样品。仅需一台仪表即可测量各种样品。先用一系列的标准液进行校准,再通过样品与标准液电位的比较得到样品的离子浓度。所有溶液中需要加入TISAB,保证样品和标准液具有相似的离子强度。

**增量法** 由于无需校准,增量法是一种非常有用的测量方法。下面将介绍各种不同的增量分析方法。增量法可测量含过量(50至100倍)络合剂的样品中特定离子浓度。和直接校准法一样,增量法可使用任意浓度单位。

- **已知增量法** 用于测量浓度较低的样品,可用于核对直接校准法的测量结果(无络合剂存在),或在含有过量络合剂的样品溶液中测量离子的浓度。将电极浸入在样品溶液中,再加入一系列整数倍的待测离子标准液。从加入前后电位的变化,可计算得到样品的初始浓度。
- **已知减量法** 可用于快速滴定或待测离子种类没有稳定标准液的情况。此方法需要知道标准液与样品间的化学计量比。对于已知减量法,需使用对待测离子有响应的电极,和能与待测离子按化学计量比完全反应的稳定标准液。

- **样品增量法** 通常用于可溶性固体样品、粘稠样品、少量或高浓度的样品,可以减少复杂的背景或温度变化对测量造成的不利影响。该方法不适用于经过稀释或低浓度的样品。即使样品中存在络合剂,仍可测量离子的浓度。电极浸入在待测离子的标准液中,再向标准液中加入整数倍的样品溶液。从加入前后电位的变化,可计算得到样品的初始浓度。
- **样品减量法** 用于测量无合适离子选择性电极可用的离子浓度。电极浸入在能与样品发生反应的标准液中,且电极能对标准液中某种离子产生响应。该方法用于测量少量的样品、无法配制稳定标准液的样品、粘稠或高浓度的样品。该方法不适用于测量低浓度样品。同样,此方法需要知道标准液和样品间的化学计量比。

**滴定法** 是一种定量的分析技术,逐渐加入能与样品中待测离子进行反应的滴定剂,测量待测离子浓度。由于离子电极不会受到浊度或色度的影响,所以可使用离子电极判断滴定反应的终点。滴定法的精度比直接校准法高10倍。

## 直接校准法

### 典型的校准曲线

直接校准法中，校准曲线由仪表程序或半对数坐标纸所生成。以标准液的电位与浓度分别为纵座标与对数横座标作图。在校准曲线的线性区域内，只需两点就能确定一条校准曲线。而在非线性区域内，则需要更多的校准点才能确定。当电极响应呈线性时，可使用直接校准法；对于非线性区域内测量请参阅下一章节**低浓度校准法**。

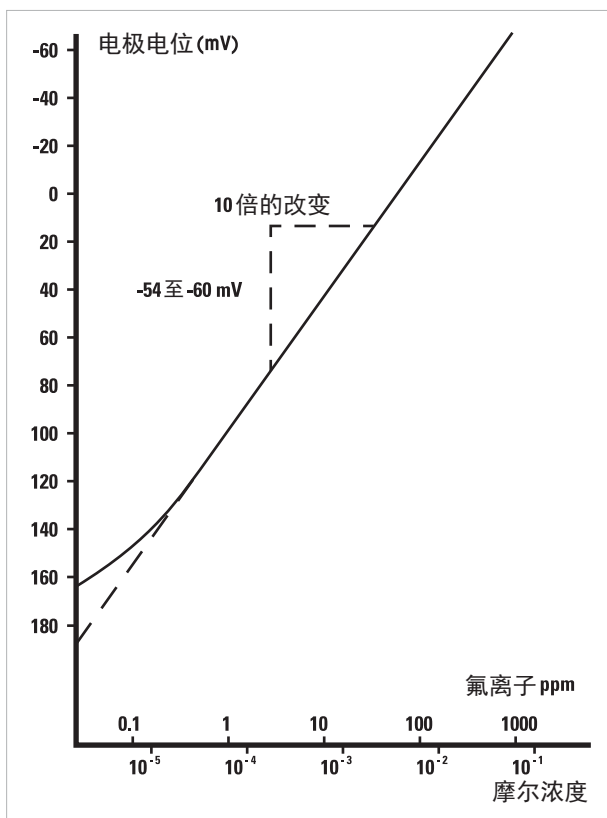


图 2 - 典型的校准曲线

## 直接校准法设置

1. 按**电极准备**章节，准备电极。
2. 将电极连接至仪表上。
3. 配制至少两个浓度相差10倍的标准液，两个标准液的浓度应该可以涵盖待测样品的浓度范围。根据测量的要求，标准液测量单位可选择任意浓度单位。参阅**逐级稀释**章节，了解如何配制标准液。所有的标准液和样品必须处于同一温度下。关于温度对电极性能影响的更多知识，请参阅**温度的影响**章节。

每50 mL的样品中加入50 mL的TISAB II，保证TISAB II与标准液和样品的稀释比例固定。

## 仪表离子模式直接校准法步骤

*注意：参阅仪表说明书获得更详细的信息。*

1. 量取50 mL的浓度最低的标准液和50mL的TISAB II至150mL烧杯中，溶液充分搅拌。
2. 用蒸馏水冲洗电极，吸干水分后浸入浓度最低的标准液中。待读数稳定后，根据仪表说明书描述调节读数为标准液数值。
3. 量取50 mL 的第二个浓度较高的标准液和50 mL 的TISAB II至150 mL 烧杯中，溶液充分搅拌。
4. 用蒸馏水冲洗电极，吸干水分后浸入浓度较高的标准液中。待读数稳定后，根据仪表说明书描述调节读数为第二个标准液数值。
5. 记录斜率结果。当标准液温度为20至25 °C时，斜率应该在-54至-60 mV之间。
6. 量取50mL的样品和50mL的TISAB II至150mL的干净烧杯中，溶液充分搅拌。
7. 用蒸馏水冲洗电极，吸干水分后浸入样品溶液中。仪表屏幕上将会显示样品的浓度。

*注意：如果使用TISAB III，第1、3、6步中每50 mL的标准液或样品中加入5 mL 的TISAB III。*

## 仪表电位模式直接校准法步骤

1. 仪表选择电位mV模式。
2. 量取50 mL的浓度最低的标准液和50mL的TISAB II至150mL烧杯中，溶液充分搅拌。
3. 用蒸馏水冲洗电极，吸干水分后浸入浓度最低的标准液中。待读数稳定后，记录电位值和相应的标准液浓度。
4. 量取50 mL的浓度较高的标准液和50 mL的TISAB II至另一个150 mL烧杯中，溶液充分搅拌。
5. 用蒸馏水冲洗电极，吸干水分后浸入浓度较高的标准液中。待读数稳定后，记录电位值和相应的标准液浓度。
6. 使用半对数绘图纸，以电位值为纵坐标，标准液浓度为对数横坐标绘制校准曲线。
7. 量取50 mL的样品和50 mL的TISAB II至150 mL的干净烧杯中，溶液充分搅拌。
8. 用蒸馏水冲洗电极，吸干水分后浸入样品中。待读数稳定后，记录电位值。
9. 使用第6步所得的标准曲线，计算得样品浓度。

*注意： 如果使用TISAB III，第2、4、7步中每50 mL的标准液或样品中加入5 mL的TISAB III。*

## 低浓度校准法

此方法适用于低离子强度的溶液，该溶液不能含有氟离子络合剂，并且氟离子的浓度小于  $2 \times 10^{-5}$  mol/L (0.38 mg/L)。对于氟离子浓度低，但离子强度高的溶液，需要配制与样品成份相似的标准液，再按照此方法测量。为了精确的测量，需注意以下事项：

- 电极需要足够的稳定时间。测量低浓度样品，需要更长的响应时间。
- 标准液和样品的搅拌速度应相同。
- 向标准液和样品中添加低浓度 TISAB。

### 低浓度校准设置

1. 按**电极准备**章节，准备电极。
2. 将电极连接至仪表上。选择电位mV模式。
3. 配制低浓度TISAB。参考**所需设备**章节。测量低浓样品必须使用低浓度TISAB。
4. 配制100 mL的标准液。稀释1000 mg/L氟离子标准液至10 mg/L。
5. 加入100 mL低浓度TISAB和100 mL的标准液至烧杯中。

注意：低浓度TISAB不含络合剂，比TISAB II和TISAB III浓度低，所以离子强度调节作用更弱。低浓度TISAB应用于测量低浓度的氟离子样品，能增强电极的性能，并且不含干扰物质。测量氟离子含量小于 0.4 mg/L ( $2 \times 10^{-5}$  mol/L) 并且不含铁或铝离子等氟化物络合剂的样品溶液，需要使用低浓度TISAB。

## 低浓度校准和测量步骤

1. 量取50 mL的去离子水和50 mL的低浓度TISAB至150 mL烧杯中。
2. 用去离子水冲洗电极，浸入烧杯中，充分搅拌。
3. 参照表2的步骤，加入相应体积的 10 mg/L或 $10^{-3}$  mol/L氟离子标准液和低浓度TISAB混合液。每次加入后，记录稳定的电位mV读数。
4. 在半对数绘图纸上，以电位值为纵坐标，浓度值为对数横坐标作图。每天使用新鲜的标准液，绘制新的校准曲线。
5. 量取50 mL的样品和50 mL的低浓度TISAB至150 mL干净烧杯中。用去离子水冲洗电极，吸干水分后浸入样品溶液中。
6. 充分搅拌后，记录稳定的电位mV读数。
7. 根据低浓度校准曲线，使用所测量的电位值，即可计算样品浓度。

表2-低浓度测量校准曲线

加入标准液(含低浓度TISAB)至50mL蒸馏水与50mL低浓度TISAB溶液中。

步骤	移液管 体积	加入 体积	mg/L	mol/L
1	1 mL	0.1 mL	0.01	$1 \times 10^{-6}$
2	1 mL	0.1 mL	0.02	$2 \times 10^{-6}$
3	1 mL	0.2 mL	0.04	$4 \times 10^{-6}$
4	1 mL	0.2 mL	0.06	$6 \times 10^{-6}$
5	1 mL	0.4 mL	0.10	$1 \times 10^{-5}$
6	2 mL	2.0 mL	0.29	$2.9 \times 10^{-5}$
7	2 mL	2.0 mL	0.48	$4.8 \times 10^{-5}$



## 已知增量法

由于无需校准曲线，使用已知增量法非常方便。可用于核对直接校准法的测量结果，或在含有过量络合剂的样品中测量某种离子的浓度。需要测量加入标准液前后样品电位的变化。为了精确的测量，需注意以下事项：

- 加入标准液后，样品浓度应该加倍。
- 应预先知道样品溶液浓度范围（3倍之内）。
- 样品中没有络合剂，或者含过量的络合剂。
- 加入标准液前后，未络合离子与络合离子的比率不变。
- 所有样品和标准液应处于同一温度下。

## 已知增量法设置

1. 按**电极准备**章节, 准备电极。
2. 将电极连接至仪表上。
3. 配制标准液, 应使其添加后样品氟离子浓度加倍。参考表 3。
4. 按**检查电极性能(斜率)**章节, 确定电极斜率。
5. 用去离子水冲洗电极。

表 3 – 已知增量法指导

加入体积	标准液浓度
1 mL	样品浓度100倍
5 mL	样品浓度20倍
10 mL*	样品浓度10倍

\* 常见使用体积

## 仪表已知增量法模式测量步骤

1. 仪表选择已知增量法模式。参阅仪表说明书获得更详细的信息。
2. 量取50 mL的样品和 50 mL的TISAB II 或5 mL的TISAB III至烧杯中。用去离子水冲洗电极，把电极浸入样品中。溶液充分搅拌。
3. 待读数稳定，按仪表说明书设置仪表。
4. 移取适量的标准液加入烧杯中。溶液充分搅拌。
5. 待读数稳定后，记录样品浓度。

## 仪表电位模式已知增量法步骤

1. 仪表选择相对电位模式。如果仪表没有相对电位模式，可选择电位模式。
2. 量取50 mL的样品和50 mL的TISAB II或5 mL的TISAB III至150 mL烧杯中。溶液充分搅拌。
3. 用去离子水冲洗电极，吸干水分后浸入烧杯中。待读数稳定后，记录电位值(mV)。
4. 移取适量的标准液加入烧杯中。溶液充分搅拌。
5. 待读数稳定，记录电位值(mV)。前后两个电位之差为 $\Delta E$ 。
6. 按表4查出电位变化 $\Delta E$ 所对应的Q值。使用下列公式计算样品初始浓度：

$$C_{\text{样品}} = Q * C_{\text{标准液}}$$

$C_{\text{标准液}}$  = 标准液浓度

$C_{\text{样品}}$  = 样品浓度

Q = 从表4中查得的数值

表中的Q值由体积变化10%的情况下计算所得。不同斜率及体积变化下的Q值计算公式如下：

$$Q = \frac{p}{[(1 + p)10^{\Delta E/S}] - 1}$$

$\Delta E$  =  $E_2 - E_1$

S = 电极斜率

p = 标准液体积 / 样品体积

表 4 - 体积改变10%对应的Q值  
斜率（第一行）的单位为mV/10倍浓度。

$\Delta E$ 单价	Q 浓度比			
	-57.2	-58.2	-59.2	-60.1
<b>5.0</b>	0.2894	0.2933	0.2972	0.3011
<b>5.2</b>	0.2806	0.2844	0.2883	0.2921
<b>5.4</b>	0.2722	0.2760	0.2798	0.2835
<b>5.6</b>	0.2642	0.2680	0.2717	0.2754
<b>5.8</b>	0.2567	0.2604	0.2640	0.2677
<b>6.0</b>	0.2495	0.2531	0.2567	0.2603
<b>6.2</b>	0.2436	0.2462	0.2498	0.2533
<b>6.4</b>	0.2361	0.2396	0.2431	0.2466
<b>6.6</b>	0.2298	0.2333	0.2368	0.2402
<b>6.8</b>	0.2239	0.2273	0.2307	0.2341
<b>7.0</b>	0.2181	0.2215	0.2249	0.2282
<b>7.2</b>	0.2127	0.2160	0.2193	0.2226
<b>7.4</b>	0.2074	0.2107	0.2140	0.2172
<b>7.6</b>	0.2024	0.2056	0.2088	0.2120
<b>7.8</b>	0.1975	0.2007	0.2039	0.2073
<b>8.0</b>	0.1929	0.1961	0.1992	0.2023
<b>8.2</b>	0.1884	0.1915	0.1946	0.1977
<b>8.4</b>	0.1841	0.1872	0.1902	0.1933
<b>8.6</b>	0.1800	0.1830	0.1860	0.1890
<b>8.8</b>	0.1760	0.1790	0.1820	0.1849
<b>9.0</b>	0.1722	0.1751	0.1780	0.1809
<b>9.2</b>	0.1685	0.1714	0.1742	0.1771
<b>9.4</b>	0.1649	0.1677	0.1706	0.1734
<b>9.6</b>	0.1614	0.1642	0.1671	0.1698
<b>9.8</b>	0.1581	0.1609	0.1636	0.1664
<b>10.0</b>	0.1548	0.1576	0.1603	0.1631
<b>10.2</b>	0.1517	0.1544	0.1571	0.1598
<b>10.4</b>	0.1487	0.1514	0.1540	0.1567
<b>10.6</b>	0.1458	0.1484	0.1510	0.1537
<b>10.8</b>	0.1429	0.1455	0.1481	0.1507
<b>11.0</b>	0.1402	0.1427	0.1453	0.1479
<b>11.2</b>	0.1375	0.1400	0.1426	0.1451
<b>11.4</b>	0.1349	0.1374	0.1399	0.1424
<b>11.6</b>	0.1324	0.1349	0.1373	0.1398
<b>11.8</b>	0.1299	0.1324	0.1348	0.1373
<b>12.0</b>	0.1276	0.1300	0.1324	0.1348
<b>12.2</b>	0.1253	0.1277	0.1301	0.1324
<b>12.4</b>	0.1230	0.1254	0.1278	0.1301
<b>12.6</b>	0.1208	0.1232	0.1255	0.1278
<b>12.8</b>	0.1187	0.1210	0.1233	0.1256
<b>13.0</b>	0.1167	0.1189	0.1212	0.1235
<b>13.2</b>	0.1146	0.1169	0.1192	0.1214
<b>13.4</b>	0.1127	0.1149	0.1172	0.1194
<b>13.6</b>	0.1108	0.1130	0.1152	0.1174
<b>13.8</b>	0.1089	0.1111	0.1133	0.1155
<b>14.0</b>	0.1071	0.1093	0.1114	0.1136
<b>14.2</b>	0.1053	0.1075	0.1096	0.1118
<b>14.4</b>	0.1036	0.1057	0.1079	0.1100
<b>14.6</b>	0.1019	0.1040	0.1061	0.1082
<b>14.8</b>	0.1003	0.1024	0.1045	0.1065
<b>15.0</b>	0.0987	0.1008	0.1028	0.1048
<b>15.5</b>	0.0949	0.0969	0.0989	0.1009
<b>16.0</b>	0.0913	0.0932	0.0951	0.0971
<b>16.5</b>	0.0878	0.0897	0.0916	0.0935
<b>17.0</b>	0.0846	0.0865	0.0883	0.0901

$\Delta E$	Q 浓度比			
	单价	-57.2	-58.2	-59.2
17.5	0.0815	0.0833	0.0852	0.0870
18.0	0.0786	0.0804	0.0822	0.0839
18.5	0.0759	0.0776	0.0793	0.0810
19.0	0.0733	0.0749	0.0766	0.0783
19.5	0.0708	0.0724	0.0740	0.0757
20.0	0.0684	0.0700	0.0716	0.0732
20.5	0.0661	0.0677	0.0693	0.0708
21.0	0.0640	0.0655	0.0670	0.0686
21.5	0.0619	0.0634	0.0649	0.0664
22.0	0.0599	0.0614	0.0629	0.0643
22.5	0.0580	0.0595	0.0609	0.0624
23.0	0.0562	0.0576	0.0590	0.0605
23.5	0.0545	0.0559	0.0573	0.0586
24.0	0.0528	0.0542	0.0555	0.0569
24.5	0.0512	0.0526	0.0539	0.055
25.0	0.0497	0.0510	0.0523	0.0536
25.5	0.0482	0.0495	0.0508	0.0521
26.0	0.0468	0.0481	0.0493	0.0506
26.5	0.0455	0.0467	0.0479	0.0491
27.0	0.0442	0.0454	0.0466	0.0478
27.5	0.0429	0.0441	0.0453	0.0464
28.0	0.0417	0.0428	0.0440	0.0452
28.5	0.0405	0.0417	0.0428	0.0439
29.0	0.0394	0.0405	0.0416	0.0427
29.5	0.0383	0.0394	0.0405	0.0416
30.0	0.0373	0.0383	0.0394	0.0405
31.0	0.0353	0.0363	0.0373	0.0384
32.0	0.0334	0.0344	0.0354	0.0364
33.0	0.0317	0.0326	0.0336	0.0346
34.0	0.0300	0.0310	0.0319	0.0328
35.0	0.0285	0.0294	0.0303	0.0312
36.0	0.0271	0.0280	0.0288	0.0297
37.0	0.0257	0.0266	0.0274	0.0283
38.0	0.0245	0.0253	0.0261	0.0269
39.0	0.0233	0.0241	0.0249	0.0257
40.0	0.0222	0.0229	0.0237	0.0245
41.0	0.0211	0.0218	0.0226	0.0233
42.0	0.0201	0.0208	0.0215	0.0223
43.0	0.0192	0.0199	0.0205	0.0212
44.0	0.0183	0.0189	0.0196	0.0203
45.0	0.0174	0.0181	0.0187	0.0194
46.0	0.0166	0.0172	0.0179	0.0185
47.0	0.0159	0.0165	0.0171	0.0177
48.0	0.0151	0.0157	0.0163	0.0169
49.0	0.0145	0.0150	0.0156	0.0162
50.0	0.0138	0.0144	0.0149	0.0155
51.0	0.0132	0.0137	0.0143	0.0148
52.0	0.0126	0.0131	0.0136	0.0142
53.0	0.0120	0.0125	0.0131	0.0136
54.0	0.0115	0.0120	0.0125	0.0130
55.0	0.0110	0.0115	0.0120	0.0124
56.0	0.0105	0.0110	0.0115	0.0119
57.0	0.0101	0.0105	0.0110	0.0114
58.0	0.0096	0.0101	0.0105	0.0109
59.0	0.0092	0.0096	0.0101	0.0105
60.0	0.0088	0.0092	0.0096	0.0101

## 滴定法

氟离子电极对硝酸镧滴定剂滴定氟离子样品的终点判断高度敏感。滴定的精度能达到样品中氟离子总浓度的 $\pm 0.2\%$ 。样品中氟离子浓度至少达到 $10^{-3}$  mol/L, 滴定曲线才能有明显的终点突跃。

当样品中存在1%或更多的(取决于总的氟离子含量)铝离子、铁离子或三价铬离子, 滴定结果偏低。

以下为使用硝酸镧滴定含氟离子样品的方法:

1. 配制0.1 mol/L 硝酸镧溶液, 称取43.3 g试剂级 $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 置于1 L 容量瓶中。加入700 mL蒸馏水, 待固体全部溶解后, 再用蒸馏水稀释至刻度线。
2. 用0.1 mol/L的氟离子标准液标定硝酸镧溶液。精确移取25 mL 氟离子标准液至250 mL塑料烧杯中, 再加入50 mL蒸馏水。将电极浸入样品。滴定过程中, 溶液需要彻底搅拌。
3. 编辑Tx系列超越型或G20紧凑型滴定仪中内置的EQP滴定模版, 然后进行等当点(EQP)滴定。等当点是指滴定曲线中斜率最大的点, 见图3。达到EQP时的体积 $V_{\text{EQ}}$ 用以计算氟化镧滴定剂的滴定量。  
清洗电极, 并吸干水分
4. 滴定未知样品。精确移取25 mL样品至250 mL烧杯中, 再加入50 mL蒸馏水。将电极浸入样品。滴定过程中, 溶液需要彻底搅拌。
5. 编辑Tx系列超越型或G20紧凑型滴定仪中的“EQP空白”滴定模版。用经过标定的氟化镧滴定剂进行等当点(EQP) 滴定。

根据以下公式计算样品溶液的浓度:

$$R \text{ (mol/L)} = Q \cdot C / m$$

其中

$$Q = VEQ \cdot c \cdot TITER$$

VEQ = 等当点时的体积

c = 氟化镧滴定剂的名义浓度

TITER = 氟化镧滴定剂滴定量

C =  $1/z$ ,  $z=3$  (当与氟化镧滴定剂物质的量相同时)

m = 样品溶液的体积

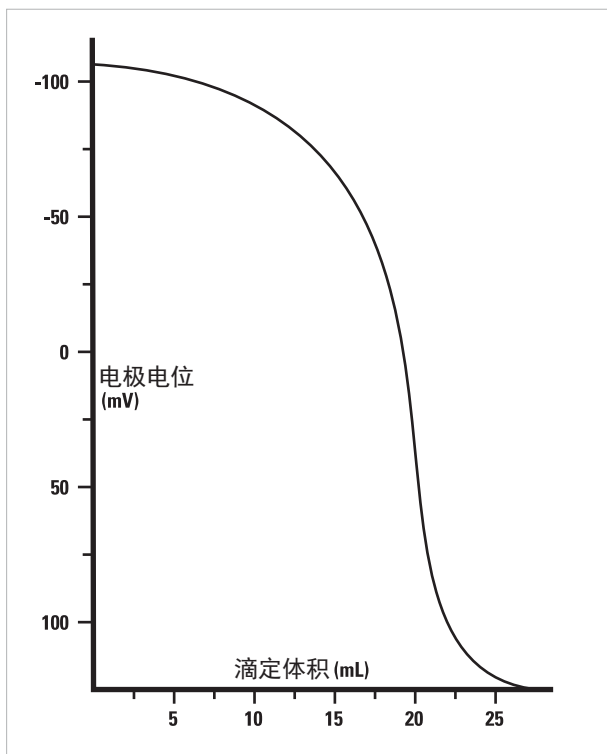


图 3 - 用 0.1 mol/L La(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 滴定 0.114 mol/L F<sup>-</sup> 的滴定曲线



## 酸性溶液中氟离子测量

当溶液的pH值小于5时，氢离子会与部分的氟离子结合生成HF 或  $\text{HF}_2^-$ 。氟离子电极无法检测两种物质。为了解化合物中的氟离子，测量前需将溶液的pH值调节为弱酸至弱碱的范围。由于样品和标准液的总离子强度随着溶液的pH值和加入氢氧化钠的量而发生变化，所以不能使用强碱物质（如氢氧化钠）调节pH值。

总离子强度的变化会影响测量浓度的准确性。另一方面，需要使用过量的乙酸钠稀释样品和标准液，将pH值调节为5以上，并将样品和标准液的离子强度调节为一致。

## 步骤

1. 配制15%的乙酸钠溶液。将试剂级乙酸钠( $\text{CH}_3\text{COONa}$ )溶解在蒸馏水中。配制足够量的15%的乙酸钠溶液，以稀释所有的样品和标准液。
2. 配制与样品成分具有相同背景，且不含氟离子的背景溶液。使用此溶液配制标准液。
3. 向上述背景溶液中加入氟离子溶液配制标准液，标准液的浓度范围应该涵盖未知样品浓度。用乙酸钠溶液稀释标准液10倍(9份乙酸钠溶液和1份标准液)。如果标准液的氟离子浓度小于10mg/L，必须每两周配制新鲜的标准液。如果使用离子计，至少配制2个标准液。如果使用仪表电位模式，至少配制3个标准液。
4. 按**检查电极性能(斜率)**章节步骤，校准电极。
5. 测量未知浓度样品：测量前，用乙酸钠溶液稀释样品10倍(9份乙酸钠溶液和1份未知样品)。

*注意：多数情况下，不需要使用背景溶液配制标准液。如果使用背景溶液配制的标准液(用乙酸钠稀释后)测量读数与用纯氟化钠配制的标准液读数相同，则不需要使用背景溶液。*

## 碱性溶液中氟离子测量

当碱性溶液中氟离子浓度较低(pH大于9.5, 浓度小于 $10^{-4}$ mol/L时), 电极对氢氧根离子和氟离子都会有响应。溶液中氢氧根和氟离子产生的电位比仅含有氟离子的溶液偏低。参考**干扰物**章节。

用4.0 mol/L 乙酸钾缓冲液调节pH值为5至6, 消除氢氧根离子带来的误差, 并使样品和标准液的总离子强度一致。用缓冲液稀释样品和标准液10倍后, 可按常规方法测量氟离子浓度。

## 步骤

1. 配制4.0 mol/L乙酸钾缓冲液：将2份6.0 mol/L 冰醋酸 ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )与1份蒸馏水混合，放置水浴中进行反应。缓慢加入50%KOH溶液，匀速搅拌，直到pH值达到5。配制足够量的乙酸钾缓冲液，以便稀释所有的样品和标准液。
2. 如需要，配制与样品成分具有相同背景，且不含氟离子的背景溶液。使用此溶液配制标准液。
3. 向上述背景溶液中加入氟离子溶液配制标准液，标准液的浓度范围应该涵盖未知样品浓度。用乙酸钾缓冲液稀释标准液10倍(9份乙酸钾溶液和1份标准液)。如果标准液的氟离子浓度小于10mg/L，必须每两周配制新鲜的标准液。如果使用离子计，至少配制2个标准液。如果使用仪表电位模式，至少配制3个标准液。
4. 按**检查电极性能(斜率)**章节步骤，校准电极。
5. 测量未知浓度样品：测量前，用乙酸钾缓冲液稀释样品10倍(9份乙酸钾溶液和1份未知样品)。

## 5. 电极特性

### 电极响应时间

以电极电位与离子浓度在半对数绘图纸上作图，得到的直线斜率约为54至60mV/10倍浓度变化。见图2。

电极的响应时间（达到稳定电位的99%）根据溶液浓度大小而不同。测量高浓度溶液需要数秒，而测量接近电极下限的溶液则需要数分钟。见图4。

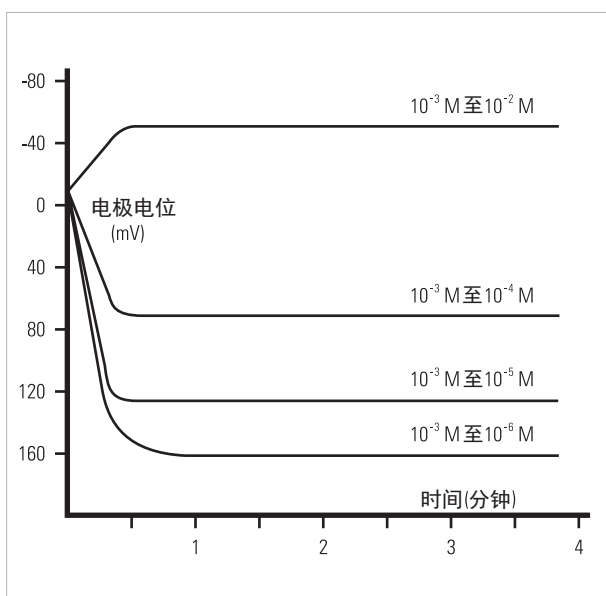


图 4 - 针对不同浓度NaF溶液，典型的电极响应时间

## 重复性

重复性受到温度波动、漂移和噪音等因素的影响。在电极的工作范围内，重复性与浓度无关。若每小时校准一次，电极直接测量的重复性为  $\pm 2\%$ 。

## 检测限

中性溶液中，氟离子电极的检测的下限为  $10^{-6}$  mol/L (0.02 mg/L)。在测量浓度低于  $10^{-5}$  mol/L 的溶液时需注意避免样品受到污染。氟离子电极的检测上限为饱和氟离子溶液。

## 温度的影响

温度的变化会影响电极的电位，所以样品和标准液之间的温差不能超过 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{F}$ )。测量氟离子  $10^{-3}\text{ mol/L}$  的样品时，温度每变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  将会造成2%的测量误差。由于参比电极的溶解平衡会随温度缓慢变化，因此参比电极的绝对电位随温度也缓慢变化。正如 Nernst 方程式中的影响因子“S”，氟离子电极的斜率会随温度的改变而改变。不同温度下电极斜率的理论值见表5。如果温度有变化，仪表和电极均需重新校准。

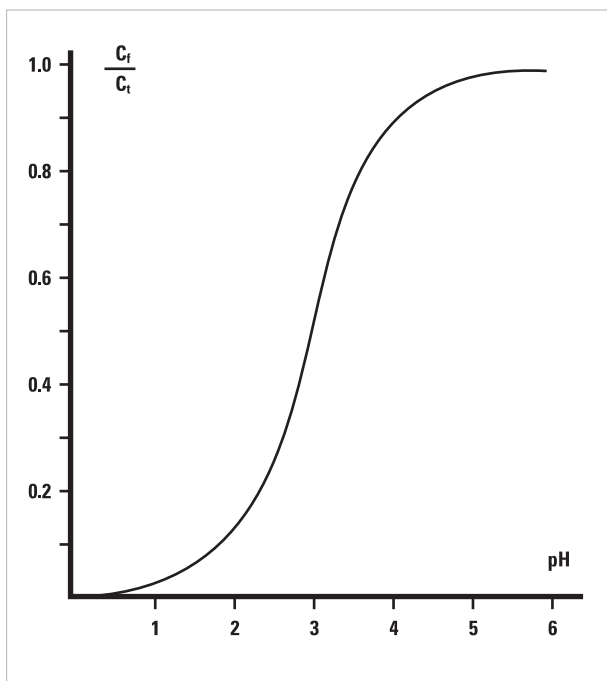


图 5 - 游离氟离子与溶液pH的函数图，氢离子作为唯一的络合物。

只要电极与温度达到了平衡, 电极就可在0到100°C下使用。如样品温度与室温差别较大, 建议平衡时间至少1个小时。电极仅可短时间测量温度超过80 °C的样品。

表 5 - 理论斜率与温度

温度 (°C)	斜率 (mV)
0	- 54.2
10	- 56.2
20	- 58.2
25	- 59.2
30	- 60.1
40	- 62.1
50	- 64.1

## 干扰物

大多数的阳离子和阴离子不会对氟离子电极测量产生干扰。常见能与氟离子结合的阴离子如 $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ 和醋酸盐都不会对电极造成干扰, 仅有 $\text{OH}^-$ 离子会对电极造成干扰, 参阅pH的影响章节。一些阴离子如 $\text{CO}_3^{2-}$ 或 $\text{PO}_4^{3-}$ 会增加样品的碱性, 从而增加了 $\text{OH}^-$ 离子的干扰, 但不会直接干扰电极的测量。



## pH 的影响

在pH值小于5的酸性溶液中,氢离子会与部分氟离子生成HF和 $\text{HF}_2^-$ 。图5表示了酸性溶液中游离氟离子的比例。当溶液中的氢氧根离子浓度高于氟离子浓度1/10时,氢氧根离子会对电极的响应造成干扰。例如在pH7时,当氢氧根离子浓度等于或低于 $10^{-7}$  mol/L,氢氧根离子不会对氟离子测量造成干扰。在pH10时,当氢氧根离子浓度为 $10^{-4}$  mol/L,氟离子为 $10^{-2}$  mol/L时,氢氧根离子不会对氟离子测量造成干扰;氟离子为 $10^{-4}$  mol/L时,氢氧根对氟离子测量造成10%的误差;氟离子为 $10^{-5}$  mol/L时,氢氧根离子对氟离子测量造成明显的误差,见图6。向氟离子标准液和样品中加入TISAB II或TISAB III可调节溶液pH值为5.0至5.5,从而避免了氢氧根离子的干扰或氢离子与氟离子形成络合物。TISAB IV可调节溶液pH值约为8.5,但不建议在低浓度测量时使用。

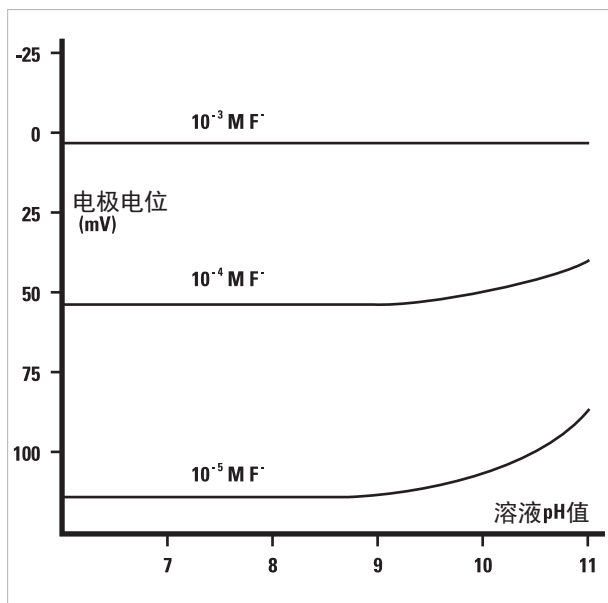


图 6 - 电极在碱性溶液中的响应

## 络合剂

氟离子能与铝、硅、铁(+3)及其它多价阳离子和氢离子发生络合反应。络合反应的程度由络合剂浓度、总氟离子浓度、溶液pH值和溶液总离子强度决定。

TISAB II 和 III 中含有CDTA试剂, 它能优先与样品中的铝或铁离子络合。在1mg/L 的氟离子样品中, TISAB II 或 III 能络合大约 5 mg/L 的铝或铁离子。高浓度的铝或铁离子可使用TISAB IV进行络合。

## 测量理论

氟离子电极由敏感部件和环氧外壳组成。当敏感部件接触到含氟离子的溶液时, 敏感部件将产生电位信号。

电极电位的大小由溶液中游离氟离子的多少所决定。该电位与固定的参比电位相比较, 再通过数字化pH/mV计或离子计测量得到。测量电位根据能斯特方程可计算出溶液中氟离子的含量。

$$E = E_0 + S * \log (A)$$

其中

E = 测量得到的电极电位

E<sub>0</sub> = 参比电位(常数)

A = 溶液中氟离子活度

S = 电极斜率(约57 mV/10倍浓度氟离子)

A是指氟离子的活度或指溶液中游离氟离子的“有效浓度”。氟离子的活度由游离氟离子浓度 $C_i$ 与活度系数 $\gamma_i$ 决定。

$$A = \gamma_i * C_i$$

离子活度系数根据总离子强度不同而各不相同。离子强度的定义是：

$$\text{离子强度} = 1/2 \sum C_i Z_i^2$$

其中

$C_i$  = i离子的浓度

$Z_i$  = i离子的价数

符号 $\sum$ 表示溶液中所有离子类型的总和。

如果溶液背景离子强度很高，而且与被测离子浓度成恒定关系，活度系数则恒定。活度直接与浓度成比例。

在所有的氟离子标准液和样品溶液中加入总离子强度调节剂(TISAB)，就是为了增强溶液背景离子强度、分解氟离子络合物，和调节正确pH值。

另外，必须考虑参比电极的情况。两种成分不同的溶液接触时，会产生液接电位。该电位由两种溶液中的离子相互扩散而产生。由于离子扩散速率各不相同，电荷通过液接的数量也不相同，就导致了两种溶液间的电位差。电极测量时，校准溶液中液接电位就必须与样品溶液中的液接电位一致。否则，液接电位的变化会造成电极测量电位的误差。

实验人员最需要控制的变化是液络部填充液的成份。填充液应该具有相等的迁移速率，填充液中阳离子与阴离子扩散至样品溶液中的速率尽可能一致。如果阳离子和阴离子扩散至样品溶液中的速率相同，所产生的液接电位最小。

然而，测量一些样品时，没有一种填充液可以完全满足上述的条件。特别困难的样品如强酸性(pH 0-2)或强碱性(pH 12-14)溶液，样品中的氢离子和氢氧根离子具有快速迁移性，造成即使使用等迁移率无机盐的任何浓度，也无法避免它们对液接电位的影响。对于这些溶液，建议使用与样品pH范围相近的标准液进行校准，或使用已知增量法。

## 6. 问题解答

按照系统的步骤可判断问题。为了方便发现问题，整个测量系统可分为四个方面：仪表、电极、样品/应用和分析方法。

### 仪表/滴定仪

仪表/滴定仪所造成的问题是最容易解决的。查阅仪表/滴定仪的操作说明书。

### 电极

1. 使用蒸馏水彻底冲洗电极。
2. 按**检查电极性能(斜率)**步骤，检查电极的性能。
3. 如果上述检查失败，查阅**测量提示**章节。按照**测量提示**章节彻底清洁电极。排空电极并填充新鲜填充液。
4. 重复**检查电极性能(斜率)**步骤，检查电极的性能。
5. 如果电极通过了性能检查，但仍然存在测量问题，可能是样品溶液中含有干扰物或络合剂，或者是测量方法错误。
6. 更换故障电极之前，再仔细查阅操作说明书确认电极已彻底清洁；电极已正确准备；使用合适的填充液、TISAB和标准液；正确测量样品，并查阅**问题列表**章节

## 样品/应用

测量结果的准确性很大程度上取决于标准液的质量。当出现问题时，必须使用新鲜的标准液，这样才能更快地解决问题。很多的错误结果都是由污染的标准液、错误的稀释、蒸馏水的质量、浓度计算错误引起。

配制标准液最好的方法是逐级稀释。参考直接校准法章节。

如果电极和仪表能正常测量标准液，但无法测量样品溶液。此时需要检查样品中是否含有干扰物、络合物或温度影响。参考**样品要求、温度的影响、干扰物**等章节。

## 分析方法

如果问题仍然存在，检查操作步骤。查阅**校准与测量设置**章节，确认遵循了合适的分析方法。确认所测量离子的浓度在电极检测限之内。

检查分析方法是否合适。直接校准法并非总是适用。如果样品中含有大量的络合物，**已知增量法**是最佳选择。如果样品黏度较高，**样品增量法**能解决这个问题。如果测量低浓度样品，按照**低浓度测量法**步骤操作。

## 问题列表

- 未添加参比填充液-向填充孔添加参比填充液。参考**电极准备**章节。
- 使用错误的电极填充液-参考**电极准备**章节，使用正确的电极填充液。
- 电极液络部干燥-按下电极帽排出几滴填充液。
- 电极堵塞或污染-参考**电极维护**章节，清洗电极。
- 标准液受到污染或配制错误-配制新鲜的标准液。参考**测量提示和分析方法**章节。
- 未使用或错误使用TISAB-标准液和样品中必须加入TISAB。参考**所需设备**获得更多TISAB信息。
- 样品和标准液温度不同-所有溶液必须处在同一温度下。
- 敏感部件上有气泡-反复浸入电极，除去气泡。
- 电极未正确连接仪表/滴定仪-拔下电极再重新安装电极至仪表/滴定仪。
- 仪表/滴定仪或搅拌器未正确接地-正确接地。
- 存在静电-使用清洁剂擦拭仪表/滴定仪的塑料部分。
- 仪表/滴定仪故障-检查仪表/滴定仪性能。参考**仪表/滴定仪操作说明书**。

## 7. 订货信息

名称	订货号
复合氟离子电极, 带BNC接头 perfectION™ comb F:	<b>51344715</b>
复合氟离子电极, 带Lemo接头 perfectION™ comb F Lemo:	<b>51344815</b>
离子参比液 A:	<b>51344750</b>
氟离子标准溶液 1000 mg/L:	<b>51344775</b>
TISAB II 含 CDTA:	<b>51344765</b>
高浓度TISAB III 含 CDTA:	<b>51344766</b>
电极杆适配器:	<b>00022986</b>





## 8. 电极参数

### 膜类型

固态膜

### 浓度范围

$10^{-6}$  mol/L (0.02 mg/L) 至饱和

### pH 范围

氟离子 $10^{-6}$  mol/L (0.02 mg/L  $F^{-}$ )时, pH 5至7

### 温度范围

0 至 80 °C 可连续使用,  
80 至 100 °C 间歇使用。

### 电极电阻

150 至 200 k $\Omega$

### 重复性

$\pm 2\%$

### 最少样品体积

50 mL烧杯中, 5 mL样品

### 电极尺寸

电极体直径: 13 mm

电极帽直径: 16 mm

电缆长度: 1.2 m

\* 产品技术规格更改, 恕不另行通知。



**[www.mt.com](http://www.mt.com)**

For more information

**Mettler-Toledo AG**

Analytical

Sonnenbergstrasse 74

CH-8603 Schwerzenbach

Switzerland

Phone ++41 (0)44 806 77 11

Fax ++41 (0)44 806 73 50

Internet: [www.mt.com](http://www.mt.com)

Subject to technical changes

©01/2010 Mettler-Toledo AG

Printed in Switzerland 1001/2.12

ME-51710846