

化肥行业应用指南



简单的操作
快速的测定
精确的结果

滴定原理
滴定过程
应用案例

滴定分析基础理论与行业应用

梅特勒-托利多易滴系列电位滴定仪

METTLER TOLEDO

目录

1	滴定分析的定义	5
2	发展历程	6
3	应用领域	7
4	手工滴定和电位滴定的优势对比	8
5	滴定理论	9
5.1	化学反应类型	9
5.2	指示原理	10
5.2.1	手工滴定	10
5.2.2	半自动/全自动滴定	11
5.3	滴定的模式——终点/等当点	13
5.3.1	终点滴定(EP)	13
5.3.2	等当点滴定(EQP)	14
5.4	滴定的类型	15
5.4.1	直接滴定	15
5.4.2	扣空白的样品滴定	15
5.4.3	返滴定	16
6	滴定的控制	18
6.1	手工滴定	18
6.2	自动电位滴定	18
6.2.1	滴定剂的添加	19
6.2.2	获得测量值	19
7	计算	20
7.1	化学计量学和当量数	20
7.2	结果计算	21

8	滴定分析所需要的组分	23
8.1	滴定剂	23
8.1.1	滴定剂浓度标定	23
8.2	电极	24
8.2.1	pH电极及其检测(酸碱滴定)	24
8.2.1.1	pH电极与温度的影响	25
8.3	滴定管	26
8.4	样品	26
9	滴定分析的性能确认	27
10	卡尔费休滴定	28
10.1	滴定原理	29
10.2	卡尔费休滴定的终点指示	29
10.3	容量法卡尔费休滴定进行的先决条件	29
10.4	漂移	30
10.5	容量法卡尔费休反应的试剂	30
10.5.1	单组分的KF液	30
10.5.2	双组分的KF液	30
10.6	浓度标定	31
10.7	样品处理	32
10.7.1	固体样品	33
10.7.2	液体样品	33
10.7.3	样品的溶解性	31
10.8	容量法卡尔费休滴定的过程	32
10.9	卡尔费休滴定的影响因素	32
10.9.1	pH的影响	32
10.9.2	副反应的影响	33
11	术语	34
12	附录(化肥应用案列)	38

滴定分析基础知识

简介

本手册介绍常规滴定和卡尔费休滴定的理论与实践。对滴定分析所需要的基本知识进行了简述。常规滴定中，不同种类的化学反应、指示原理和滴定类型也进行了解释，并将手工滴定和电位滴定进行了比较。

卡尔费休水分滴定作为一种特殊的滴定类型，在单独章节中进行了介绍。

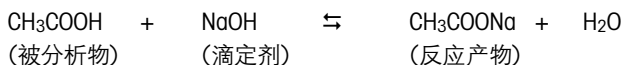
手册最后还给出了常规滴定和卡尔费休水分滴定实际操作中需要注意的事项和提示。

1 滴定分析的定义

滴定分析是指使用一种已知浓度的滴定剂与样品中特定成分进行完全的化学反应，根据反应关系得出样品中这种特定成分含量的分析方法。滴定剂连续添加到样品中，直到化学反应终止。为了指示滴定的终点，就需要用一种合适的手段来监测化学反应的进行。基于化学反应的计量学原理，可以根据滴定液的消耗量计算出样品中特定成分的含量。

滴定过程中发生的化学反应必须是快速的、完全的、定量的和可观测的。

以大家熟知的滴定为例，用NaOH滴定醋中的乙酸(CH₃COOH)时，反应是基于如下的化学平衡：



传统指示滴定终点的方法是使用合适的颜色指示剂，被分析物与滴定液反应完全时(滴定终点)，指示剂会发生颜色变化。现在，如果采用电化学反应的传感器(电极)，不但可以指示滴定反应的终点，而且可以监视反应的整个过程。

2 发展历程

从手工滴定到电位滴定

传统手工滴定需要采用一根具有刻度的滴定管(酸式或碱式)，手动控制滴定剂的添加，当指示剂的颜色发生变化时表明滴定达到了终点。

最初，只有当反应达到终点时有显著颜色变化的滴定才能被应用。而如今，滴定需要采用指示剂，可以人为地控制颜色变化，滴定的精度主要取决于分析员的经验和对不同颜色识别的能力。

滴定分析已经经历了较大的发展：从手工滴定到由马达自动驱动滴定管进行滴定，保证了滴定剂添加的精密度和重复性。电化学指示电极替代颜色指示剂的应用，可以获得更高的精密度和准确度的结果。图形化的电位-滴定剂体积曲线(E-V)，以及对其进行的数学评估，可以获得比以颜色变化判断终点更为准确的终点。微机的使用，更使得滴定的控制和评估自动化。这些都是滴定分析迈向完全自动化的重要一步。



3 应用领域

滴定分析是各行业广泛应用的一种分析技术，例如在以下行业得到广泛应用：

- 化工行业
- 食品&饮料行业
- 电子电镀工业
- 教育行业



4 手工滴定和电位滴定的优势对比

滴定分析在世界范围内各种实验室中的广泛使用具有较多的原因，下面从多方面对比了手工滴定和电位滴定的各自优点：

手工滴定

- 滴定分析方法成熟
- 分析时间短
- 结果准确
- 对比复杂的分析手段而言，性价比高

自动电位滴定

- 滴定分析方法成熟
- 分析时间短
- 对比手工滴定而言，结果更准确，重复性更高
- 对比复杂的分析手段而言，性价比高
- 独立操作
- 节省分析员的时间
- 操作简单，易于掌握
- 无需专业的操作员



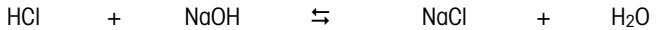
5 滴定理论

滴定分析可以根据化学反应的类型和指示原理进行分类。

5.1 化学反应类型

滴定分析主要的三种化学反应类型，及其常见例子和典型应用如下所示：

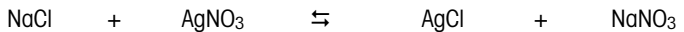
酸碱反应：



应用举例： 果汁、牛奶和葡萄酒中的酸值
醋和番茄酱中的酸含量
水中的p值和m值
酸度和碱度

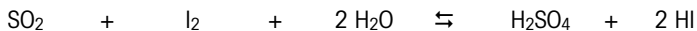
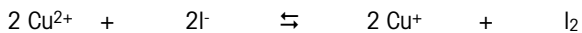
梅特勒-托利多易滴系列ET18电位滴定仪可以完成您酸碱滴定应用的所有需求。

沉淀反应：



应用举例： 食品中的氯化物/盐含量
银含量检测

梅特勒-托利多易滴系列ET28电位滴定仪可以成功完成您沉淀滴定应用的所有需求。

氧化还原反应：

应用举例：
果汁中的还原糖
果汁中的维生素C含量
葡萄酒中的SO₂含量
食用油的过氧化值

梅特勒-托利多易滴系列ET38电位滴定仪可以成功完成您氧化还原滴定应用的所有需求。

对于卡尔费休水分检测，详见第10章部分的描述。

5.2 指示原理

5.2.1 手工滴定

手工滴定采用颜色指示剂来监测反应的进行，反应达到终点时，指示剂颜色会发生变化，提示滴定达到终点。



下表列出了酸碱滴定时常用的几种颜色指示剂，包括变色过程、变色的pH范围和应用举例。

指示剂	变色过程	pH范围	应用举例
甲基橙	红色 — 黄色	3.1 - 4.4	碱度, m值
酚酞	无色 — 粉红色	8.3 - 10.0	酸度, p值
混合指示剂 (如Merck5, Tashiro)	紫色 — 绿色	4.4 - 6.2	凯氏定氮

5.2.2 半自动/全自动滴定

5.2.2 半自动/全自动滴定

电势电位测量理论广泛应用于全自动或半自动(配有一根电极和测量组件的手工滴定)电位滴定仪中。溶液中的电位会随着溶液浓度的变化而变化，溶液电势电位可以通过与一个参比电位对比而测得。

pH检测、氧化还原检测和银离子检测都可以这样进行，一般会采用结合了参比电极的复合电极。

下面描述了常见应用对应的复合电极。

酸碱滴定(水相):

应用举例:

复合pH玻璃电极

葡萄酒、牛奶和果汁中的酸值

水质的p值和m值

梅特勒-托利多易滴系列ET18滴定仪水相酸碱滴定专用电极: **EG11-BNC**

酸碱滴定(非水相):

应用举例:

复合pH玻璃电极

食用油中的游离脂肪酸含量

总酸/总碱值

梅特勒-托利多易滴系列ET18滴定仪非水酸碱滴定专用电极: **EG13-BNC**



沉淀滴定:

应用举例:

复合银电极

银量法滴定

食品中的氯化物含量

银含量检测

梅特勒-托利多易滴系列ET28滴定仪专用电极: **EM45-BNC****氧化还原滴定:****(水相/非水相)**

应用举例:

复合铂电极

食用油中的过氧化值

果汁中的还原糖

梅特勒-托利多易滴系列ET38滴定仪专用电极: **EM40-BNC**

对于部分氧化还原反应, 伏安法指示可能会更合适, 此时溶液的电势电位是通过对双铂针电极施加一个极化电流而得到。

氧化还原滴定(极化电流): 双铂针电极

应用举例:

葡萄酒中的SO₂含量

饮料中的维生素C含量

梅特勒-托利多易滴系列ET38滴定仪伏安法专用电极: **EM43-BNC**

EM43-BNC电极在卡尔费休水分滴定中也被使用, 详见10.2部分。

5.3 滴定的模式 —— 终点/等当点

滴定的模式有两种，即终点滴定(EP)和等当点滴定(EQP)。

5.3.1 终点滴定(EP)

终点滴定类似于传统的手工滴定过程，滴定剂缓慢添加到样品溶液中，直到指示剂的颜色发生变化，反应终止。用电位的方法来指示就是滴定达到预先设定的电位值终止，如 $\text{pH}=8.2$ 或者电位为 100mV 等。下图1展示了典型的终点滴定曲线。

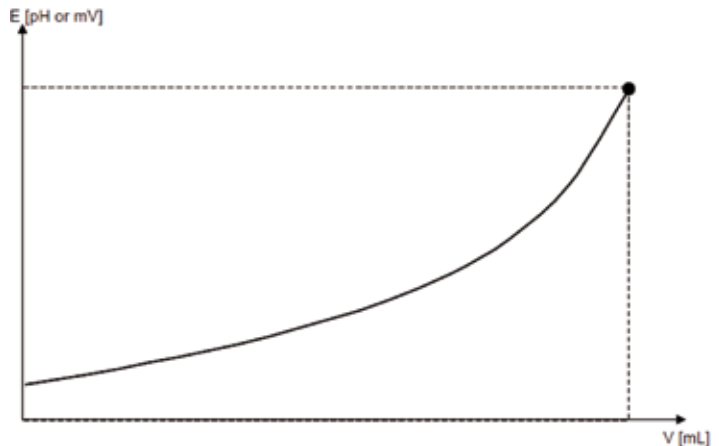


图1 终点滴定曲线

手工滴定中指示剂颜色的变化与其变色的 pH 范围有关，所以这种模式常被用在酸碱滴定中。所设置的终点电位/ pH 值主要取决于历史操作经验。

为了获得准确的滴定终点，在滴定之前必须对电极进行校正。电位/pH值检测不正确将导致错误的结果。

样品的pH值是与温度有关的，所以，样品检测或滴定时的温度必须与电极校正时温度一样，或者借助温度电极进行补偿。

5.3.2 等当点滴定(EQP)

等当点指的是样品与滴定剂恰好以等当量反应的化学计量点，在大多数情况下，是与滴定曲线的拐点相一致的。以酸碱滴定曲线为例，其拐点是通过pH值/电位(mV)和滴定剂消耗量(mL)的关系来定义的。下图2显示了典型的等当点滴定曲线。

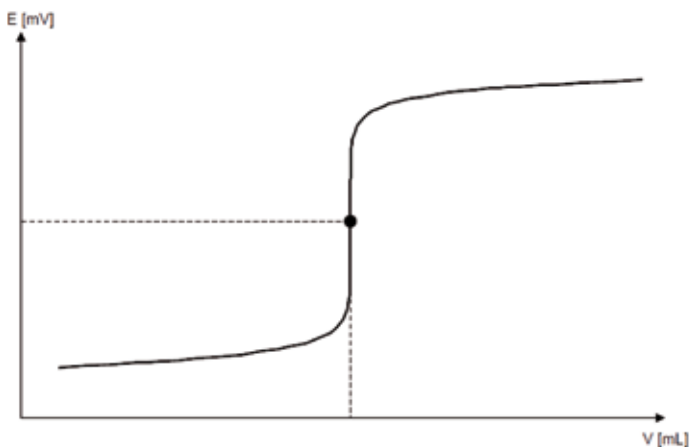


图2 等当点滴定曲线

5.4 滴定的类型

实际应用中，以下三种滴定类型经常被使用。

- 直接滴定
- 扣空白的样品滴定
- 返滴定

5.4.1 直接滴定

直接滴定过程中，样品与滴定剂直接发生反应。滴定剂的消耗量直接等比于样品含量，并被应用于计算。



例如滴定醋中的酸度就可以采用直接滴定，液体样品被稀释后直接用NaOH滴定。

5.4.2 扣空白的样品滴定

在这种情况下，样品被溶解于一定的溶剂中，这种溶剂也会与滴定剂反应，产生一定的消耗体积。所以需要确定溶剂的空白值。总的消耗量减去溶剂的滴定剂消耗量(空白值)就等于样品的滴定剂消耗量。



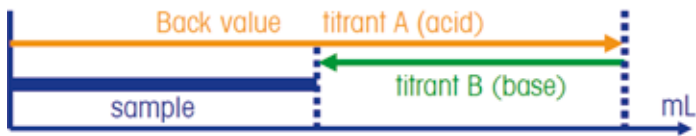
酸值或者食用油中游离脂肪酸的检测需要采用扣空白的样品滴定类型。样品溶解在一种混合溶剂中后，用KOH的乙醇溶液进行滴定。溶剂中的酸性杂质也会与滴定剂反应，所以需要事先将不含样品的溶剂进行滴定，以确定空白值，然后才进行样品的滴定分析。样品的滴定剂消耗量等于总的滴定剂消耗量(样品消耗的滴定剂+溶剂消耗的滴定剂)减去空白值，并用于结果计算。

样品和空白值的滴定时，需要使用一致的溶剂(相同种类、相同的比例和相同的量等)。

易滴系列滴定仪：空白值会被自动保存在仪器的设置中。

5.4.3 返滴定

进行返滴定时，首先会在样品中加入已知量，并且是过量的滴定剂或试剂。经过足够时间的反应后，过量的部分体积或数量被另一种滴定剂滴定。根据两种滴定剂消耗量的差异可以计算出样品的当量。



常见的一个应用是还原糖的应用。过量的 Cu(II) 被加入到样品中， Cu(II) 与还原糖反应生成 Cu(I) ，未还原的 Cu(II) 用硫代硫酸钠滴定。事先加入到样品中的 Cu(II) 需要知道其准确的数量，这个量被称为返滴定值。返滴定值减去滴定剂的消耗量就可以计算出样品消耗滴定剂的量和样品的含量。

返滴定值：加入到样品中的过量的滴定剂或试剂的摩尔数量必须已知。

易滴系列滴定仪：返滴定值存储在仪器的返滴定方法中。

6 滴定的控制

6.1 手工滴定

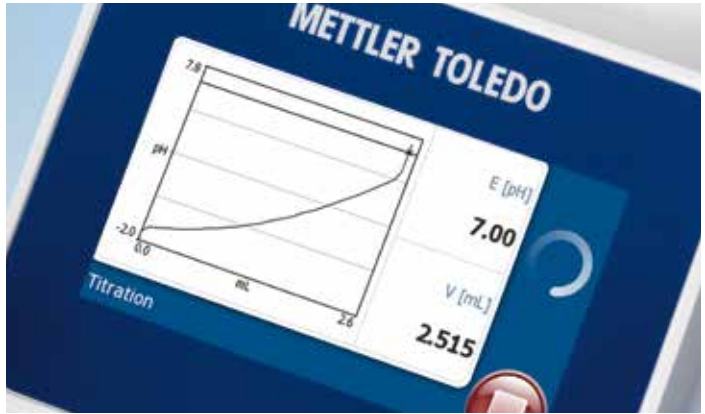
手工滴定一般由操作人员手动操作，滴定剂的添加由手动控制，反应进行的终点和指示剂的变化完全由肉眼判断。



6.2 自动电位滴定

自动电位滴定仪可以使滴定操作自动化，如滴定剂的添加、监控反应的进行(获取测量值)，终点判断，以及结果计算等，均实现自动化。

滴定曲线是一组根据测量电位信号 E [mV或pH]与滴定剂消耗体积 V [mL]绘制的图谱。电位信号指示的是随着滴定剂的添加，化学反应进行的实时电位值。



6.2.1 滴定剂的添加

滴定剂的添加一般有两种方式：以设定的馈液速度持续添加或以一定的体积增量添加，体积增量可以是固定的也可以是动态的，取决于检测到的电位变化。

6.2.2 获得测量值

添加一定量的滴定剂后必须检测溶液电位，通常都是基于平衡控制。

易滴系列滴定仪：一系列经过测试和批准的控制参数被预先定义在仪器中，以适合于不同要求的应用，这些预先定义参数有：

正常滴定 可以获得较高的检测准确度，滴定速度适中。

快速滴定 如果滴定需要消耗较多的滴定剂，可以使用快速滴定模式，滴定速度较快，但准确度一般。

精细滴定 最高的准确度，尤其是低含量的样品非常合适，滴定速度也相应延长。

此外，用户还可以自定义其中的控制参数。

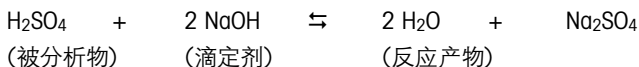
7 计算

结果的计算是基于滴定剂的消耗量和滴定剂与样品间化学反应的化学计量关系的。

7.1 化学计量学和当量数

化学计量学阐述的是被分析物(样品)与试剂(滴定剂)发生化学反应的计量关系。例如, 需要多少摩尔数或摩尔质量的试剂(滴定剂)才能与一定数量摩尔数或摩尔质量的分析物(样品)完全反应。

如下例所示, 化学计量关系通常可以用化学反应方程式来表示:



滴定分析中, 被分析物与滴定剂的比例关系通常用“当量数”来表述, 简称为“z”

上例中, 需要2mol的NaOH才能完全中和1mol的H₂SO₄, 因此其当量数为2, 此处当量数就是滴定剂在反应中的摩尔数。

计算时, 当量数常与分析物的摩尔质量一起使用, 此时滴定剂被配制成相应当量的摩尔浓度, 例如: $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)=0.1\text{mol/L}$, 或 $c(1/5\text{KMnO}_4)=0.1\text{mol/L}$

下表显示了常见的分析物，滴定剂，及其当量数。

分析物 (样品)	滴定剂 (试剂)	当量数 (z)
HCl	NaOH	1
NaCl	AgNO ₃	1
乙酸CH ₃ COOH	NaOH	1
酒石酸C ₄ H ₆ O ₆	NaOH	2
SO ₂	I ₂	2
维生素C (抗坏血酸)	DPI	2
柠檬酸C ₆ H ₈ O ₇	NaOH	3

7.2 结果计算

样品含量的计算可以采用如下计算公式：

$$\text{含量} = \frac{\text{VEQ} * c * M * f}{m * z}$$

VEQ = 滴定剂消耗量[mL]

c = 滴定剂的当量浓度[mol/L]

M = 分析物的摩尔质量[g/mol]

m = 样品质量[g]或体积[mL]

z = 分析物的当量数

f = 单位换算因子，不同单位间的换算，如g/L或%等。

下面以番茄酱中NaCl含量的计算为例来说明，以mg/100g为单位。

样品质量: $m = 1.071 \text{ g}$

滴定剂浓度 (AgNO₃): $c = 0.1 \text{ mol/L}$

滴定剂的消耗量: $\text{VEQ} = 6.337 \text{ mL}$

摩尔质量 (NaCl): $M = 58.44 \text{ g/mol}$

当量数: $z = 1$

换算因子: $f = 0.1$

$$\text{含量 [\%]} = \frac{6.337 \text{ mL} * 0.1 \text{ mol} * 58.44 \text{ g} * 0.1}{1.071 \text{ g} * 1 * \text{L} * \text{mol}}$$

$$\text{VEQ [mL]} * c [\text{mol/L}] = \text{消耗的mmol数量} = Q = 0.6337 \text{ mmol}$$

$$Q [\text{mmol}] * M [\text{g/mol}] / m [\text{g}] = \text{含量 [mg/g]} = 34.578 \text{ mg/g}$$

换算因子f用以将当前单位转换成所需要的单位：

$$[\text{mg/g}] * 100 / 1000 \text{ (或者 } [\text{mg/g}] * 0.1) = 3.458 \% \text{ 或者 g/100g}$$

(除以1000，将mg转换为g；乘以100，表示每100g的含量)

易滴系列滴定仪：已内置了常用的计算公式和单位，只需选择所需要的单位即可，简单方便。

8 滴定分析所需要的组分

8.1 滴定剂

滴定剂是一种已知浓度，并能与样品发生化学反应的试剂。其名义浓度通常以mol/L为单位，实际浓度需要采用一种合适的基准物进行浓度标定(或称作“标化”或“滴定度测定”)。

市售的滴定剂，其浓度通常是可信的，可以被直接使用在滴定分析中，保存、使用和保护措施得当的情况下，新鲜的溶液打开后一般可以使用两周左右。如果是自行配制的滴定剂，其实际浓度需要通过标定确认后才能被应用到后续的滴定分析中。

8.1.1 滴定剂浓度标定

滴定剂实际浓度需要采用一种高纯度的基准物进行浓度标定。基准物的摩尔质量将被用于计算滴定剂的浓度，实际浓度是一个与名义浓度相关的值，“滴定度”描述的就是实际浓度与名义浓度的关系，即滴定度等于实际浓度除以名义浓度，这个值通常接近于1。

实际浓度 = 名义浓度 * 滴定度

$$\text{滴定度} = \frac{\text{实际测得的滴定剂浓度}c}{\text{滴定剂的名义浓度}c}$$

有些滴定剂，如NaOH或KOH，易与CO₂反应，所以配制这类滴定剂时需要使用无CO₂的水，并在盛装容器中使用一些合适的吸附剂(如在干燥管内盛装固体NaOH)，以避免配制好的滴定剂长期暴露在空气中而变质；再如DPI，碘和高锰酸盐滴定剂对光敏感，短期存储建议置于棕色瓶中，长期存储建议置于黑暗环境中；另外，也要避免滴定剂存放在易于产生较大温差的环境中，因为较大的温差会使滴定剂发生挥发或浓缩，进而影响其浓度。

8.2 电极

电极的作用是监测滴定分析的整个过程，电极在使用过程中需要注意以下几个条件：

- 电极及其液络部需要浸没在样品液中；
- 电极内的填充液的液位必须高于样品液的液位；
- 在检测过程中，填充液加液口必须打开。

电极的使用寿命取决于电极使用和维护的情况，通常可以使用半年到3年。关于使用、维护保养和存储的进一步指导，请参阅电极的说明书。

8.2.1 pH电极及其检测(酸碱滴定)

为了获得准确的pH测量结果，尤其是pH终点滴定前，必须对电极进行校正。

mV和pH之间的关系可以通过能斯特方程来表述，25°C时斜率和零点为：

斜率： - 59.16 mV/pH @ 25°C
零点： +/- 0 mV 或者 pH 7.00

因为pH电极通常由手工吹制，要获得准确的pH测量结果，就需要对电极进行校正，校正程序将会调整pH电极的斜率与零点。

校正时采用已知pH值的缓冲溶液进行，至少需要两种pH值的缓冲溶液。缓冲液的mV值会被连续检测。电极的斜率和零点会被仪器自动计算并储存。

8.2.1.1 pH电极与温度的影响

缓冲液或样品的pH值与其温度有关，所以在每一次检测时都要指明温度值。

标准缓冲液在不同温度下的pH值是已知的，已被存储在仪器相应的缓冲液值中，或者可以编辑，而用于校正程序。当连接了温度电极时，实际检测到的温度和相应的缓冲液值会被用于校正。如果没有连接温度电极，校正通常在默认的室温下进行，即25℃。

因为样品的pH值随温度变化的关系是未知的，所以在标定和样品滴定分析时的溶液温度需要与电极校正时温度相一致。

易滴系列滴定仪：内置了缓冲液相应温度下的pH值，只要选配温度电极，校正时就能进行温度补偿。

8.3 滴定管

通常，滴定管的选择需要考虑的因素是：一次合适的滴定分析需要消耗20%~90%滴定管体积的滴定剂。

需要确保滴定管，包括管路(吸液管、连接管和馈液管)内是清洁的、充满滴定剂的，并且没有气泡存在。可以通过几次冲洗循环排除滴定管和连接管路中的气泡。



滴定剂中的气泡可以通过进行温热或者超声处理来排除，然后储存备用。

8.4 样品

固体样品的输入可以用质量[g]表示，液体样品的输入可以用体积[mL]来表示。

因为一次滴定需要消耗20%~90%滴定管体积的滴定液，所以样品量也需要据此做相应的调整。选择一种合适的溶剂将样品彻底溶解。

为了更准确的检测，无论是固体样品还是液体样品，都推荐使用质量值来表示样品量，如有必要可以使用密度值来换算体积。

9 滴定分析的性能确认

仪器的性能可以通过运行已知含量的标准品来确认。整个滴定过程，包括滴定剂的添加、测量值的接收、终点识别、以及分析的准确性都可以被确认。

推荐间隔一定的时间就执行一次性能确认。每次性能确认至少进行三个平行样品的分析，用以计算相对标准偏差。

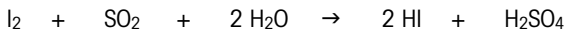
为获取较为准确的分析，可以采用易滴系列VPac性能验证包和证书。即刻可用的VPac性能验证标准溶液包括酸、碱和氯化物滴定三种类型。

10 卡尔费休滴定

卡尔费休滴定方法用于样品的水分检测也是一种常用的滴定方法。



R.W. Bunsen描述了卡尔费休滴定的反应式：



卡尔费休是一位德国的化学家，他发现了在非水体系中的这个反应，如甲醇和过量的 SO_2 存在时，可以用来检测含水量。为了使反应向右进行，就需要中和反应产生的酸(HI和 H_2SO_4)，卡尔费休采用吡啶来达到这个目的。

后来的研究明确了这个反应可以分为两步，并且甲醇不仅仅是溶剂，而且也参与反应。如今，商品化的试剂可以从不同的生产商那里采购得到，早期使用的吡啶也被咪唑取代。

卡尔费休水分测定法可以两种技术方法实现：容量法和库仑法。库仑法滴定适合于检测微量含水，而容量法适合于检测100ppm~100%含水量，因此容量法应用更广。

梅特勒-托利多ET08容量法卡尔费休水分滴定仪适合于各行业各类不同样品的水分检测。

10.1 滴定原理

样品(液态或固态)溶解在一种非水溶剂中，如甲醇中，含碘的滴定剂在滴定管的驱动下被滴加到样品中，与样品中的水分发生反应。滴定反应达到终点时将产生过量的碘，会被双铂针电极测量得到(伏安法)。

10.2 卡尔费休滴定的终点指示

伏安法被用于指示卡尔费休滴定的终点。此时，一个较小的恒定电流(可称作极化电流= I_{pol})被施加在一个双铂针电极上。如要维持设定的极化电流，双铂针电极就需要产生较高的电压(如400~600mV)，当所有的水分都与碘发生完全反应，反应液中就产生多余的碘。双铂针周围的碘产生“传导”，此时要维持设定的极化电流只需要较小的电压(大约为100mV)。当电压下降到设定的值时，滴定结束。

反应杯中溶剂的彻底混匀对产生稳定的“离子传导”是非常必要的，这样才能确定正确的终点。

10.3 容量法卡尔费休滴定进行的先决条件

卡尔费休滴定反应进行之前需要满足两个主要条件：

- 一个稳定的内环境，尤其是指反应达到一个较低的漂移值。
- 样品中的水分可以被完全释放。

10.4 漂移

反应容器并不是完全密闭的，空气中的水分总能找到进入反应容器的途径。漂移值指的是一段时间内进入反应容器的水分量，通常以微升每分钟来表示(μL 滴定剂/min)。

基于这样的考虑，就需要定量地知道样品测定过程中的漂移值，并在结果运算时加以扣除。

为防止水分渗入，可以连接充满分子筛的干燥管。分子筛的吸水能力是有限的，所以需要定期更换分子筛。

10.5 容量法卡尔费休反应的试剂

进行容量法卡尔费休滴定需要相应的溶剂和滴定剂(或合称为“KF液”)。市面上有两种KF液供选购，即单组分的KF液和双组分的KF液。

10.5.1 单组分的KF液

滴定剂含有碘、 SO_2 和咪唑，溶解在合适的溶剂中，这种溶剂通常为甲醇。

10.5.2 双组分的KF液

滴定剂含有碘和甲醇，溶剂含有 SO_2 ，咪唑和甲醇。

因为单组分的KF液更易于操作，并且价格便宜，因此应用更广一些。

卡尔费休滴定液的浓度以毫克水每毫升滴定剂来表示，如5mg/mL。不同浓度的卡尔费休滴定液可以向试剂生产厂家购买。因为卡尔费休滴定液启瓶之后，放置时间过长会变得不稳定，所以需要定期对其浓度进行标定。

为保证滴定剂在一段较长的时间内保持较高的浓度，试剂生产厂家在生产时，往往会将滴定剂的实际浓度相对于名义浓度调高5%~10%。因此即使是新启瓶的卡尔费休滴定液也需要标定其实际浓度。

为防止水分渗入到溶剂和滴定剂中，可以在两个试剂瓶的顶盖上分别连接充满分子筛的干燥管。

10.6 浓度标定

卡尔费休滴定液浓度的标定可以采用已知含水量的基准物。可以采用如下不同浓度的基准物：

- 二水合酒石酸钠
- 标准水样品(已认证的)
- 水剂(浓度已知的)
- 纯水

水标样较易获得，而固体标样在滴定前需要充分混合与溶解。

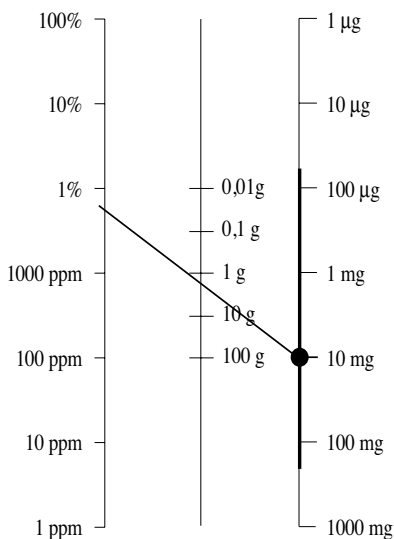
二水合酒石酸钠在甲醇中溶解度低，经过三次标定后需要及时更换溶剂(甲醇)。

10.7 样品处理

滴定中需要样品量的多少取决于以下两个因素：

- 样品的大概含水量；
- 检测结果需要达到的准确度和精密度。

容量法卡尔费休水分滴定时，单个样品的含水量推荐在10~30mg，样品量增加时，准确度也会相应提高些，因为样品量增加会相应增加滴定剂的消耗量，减少空气湿度对检测的影响。



推荐的样品量可以按左图所示，根据样品预期的含水量来得到最优取样量，例如10mg水与预期含水量之间用一条直线连接。

这条直线与中间这条“样品质量”刻度相交汇点上的数值代表了需要取用的样品质量。

通常，样品量以质量来表示，而且减重法是最适合于表征实际加入到反应杯中的样品质量的方法。操作过程可以参考以下部分的描述。

10.7.1 固体样品

固体样品可以被直接转移到反应杯中，样品需要快速称重，并转移到反应杯中，以减小暴露在空气中的时间。

减重法：样品盛装在一个称样舟内，置于一天平上，归零。将样品转移到反应杯中，并将空的称样舟放回天平上回称其质量。天平上显示数值的绝对值即为加入到反应杯中的样品质量。

脆硬的或粗粒的样品在称重之前可以经过研钵研磨和粉碎机打碎。软质的样品可以用剪刀切成小片，小片状样品可以用镊子取样。这些操作不应影响样品含水量产生影响。



10.7.2 液体样品

液体样品通常采用注射器注入反应杯中。

进样之前需要用样品液润洗注射器2~3次。对于粘稠样品，可以使用粗针头，甚至不用针头，此时样品可以从注射器尾部压入。

液体样品的称量过程与固体样品一样，即10.7.1部分描述的减量法。

非均匀的液体样品取样前需要充分的混合，如非极性的油品。

10.7.3 样品的溶解性

为准确检测样品中的含水量，样品中的水分需要充分释放出来。水分子只有进入到卡尔费休溶液中才能参与反应。额外的辅助溶剂可被用于充分溶解样品，这些辅助溶剂本身的含水量越低越好。在这种使用混合溶剂的情况下，至少确保30%的溶剂是醇类，如甲醇，以使卡尔费休反应遵守其原本的化学反应关系。

下表显示了不同样品种类采用的不同溶剂，及其最大使用量。

溶剂	最大使用量	样品
甲醇	100%	试剂：丙酮、二氧六环、乙醇、酯 有机产品：尿素，水杨酸 食品：蜂蜜，奶酪，饮料 化妆品：香皂，面霜，乳膏
氯仿	70%	石化产品：原油，液压油，变压器油，酯
正癸醇 辛醇 己醇 十二烷醇	50%	油品：食用油，按摩油，精油 石化产品：汽油，柴油，煤油 药品：软膏剂，乳膏剂



甲苯	50%	蜡，焦油，栓剂
甲酰胺	50%	糖类：果冻，焦糖 淀粉类产品：面粉，谷物，面条，薯片

卡尔费休滴定中，溶剂的溶解性至关重要，如果溶剂失去溶解能力，样品中的水分将无法释放，并导致错误的检测结果，结果可能偏小。因此需要及时并定时更换溶剂。

10.8 容量法卡尔费休滴定的过程

重新添加溶剂后，反应杯中的卡尔费休反应需要重新平衡，将新加溶剂中的水分反应除去，只有反应杯中的水分被除去后，才能进行样品检测。液体或固体样品被加入到反应杯中，在预搅拌阶段，样品中的水分被释放出来，然后被滴定。扣除漂移值后的计算结果会被仪器自动计算，并显示在屏幕上，传输到电脑上，或被打印出来。

10.9 卡尔费休滴定的影响因素

10.9.1 pH的影响

卡尔费休反应的速率受反应体系pH值的影响。反应最佳的pH范围在5.5~8之间。当pH低于4时，反应变得非常缓慢，而如果高于8.5，就会产生副反应，并导致更多碘的消耗。

可以采用合适的缓冲液来调节酸性或碱性样品水分检测时的反应液pH值。诸如用咪唑来调节酸性样品检测的反应液，用水杨酸来调节碱性样品检测的反应液。

10.9.2 副反应的影响

除了pH值的影响以外, 还有如下三类副反应会影响卡尔费休反应的结果。

副反应的影响

- 醛类和酮类样品会与甲醇反应产生水分, 导致检测结果偏高
- 醛类和酮类样品会与SO₂反应, 消耗水分, 导致结果偏低。
- 易被氧化的样品会与KF液中的碘反应, 如维生素C, 氢氧化物, 过氧化物和亚硫酸盐等。

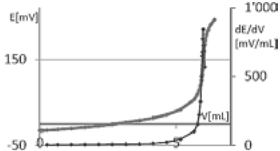
解决方法

- 采用专用的卡尔费休试剂, 用于检测醛酮类样品的水分检测。这类试剂被称为K-试剂, 其中含有了一种有别于甲醇的醇类物质。
- 加速反应, 如样品加入后立即反应, 并加快滴定剂的添加速率。
- 大部分这类样品可以采用外部萃取的方法检测, 或者采用卡尔费休加热炉。

11 术语

滴定	化学定量分析方法。滴定剂与样品发生定量反应，通过滴定剂的消耗量和反应关系可以计算出样品的含量。计算方法是基于化学计量学原理(同义词：容量分析、滴定分析)。
滴定剂	一种化学试剂，其浓度可以通过标定而被准确地知道。(同义词：滴定液、滴定标准液)。
基准物	经过认证的高纯物质，用于标定滴定剂的准确浓度。
指示	监控滴定反应和检测滴定终点的方法，如使用电极的电势电位原理，或使用颜色指示剂原理。
滴定终点	当预期的终点或等当点达到时滴定分析结束，此时滴定剂的消耗量被评估。取决于不同的化学反应类型，有时会产生多于一个的等当点。
等当点	当反应达到等当点时，滴定剂物质的物质当量与样品的物质当量是相同的。
被分析物	样品中含有的特定的化学成分，这种成分可以在滴定分析中被测定。
标定	采用一种高纯物质(基准物)来检测滴定剂浓度的滴定过程。
化学计量学	试剂与样品间的摩尔/质量关系，化学反应的进行通常基于一个固定的数量关系。
卡尔费休滴定	水分含量检测的特殊的滴定方法。
漂移值	一段时间内渗入反应杯中的含水量。需要被定量，并在样品分析后扣除。

尿素中水分含量的检测													
应用简介: 卡尔费休法(Karl·Fischer)法是一种测定水分含量最专一的方法,既迅速又准确,广泛地应用于各种固体、液体及一些气体样品的水分含量的测定。GB2440-2001规定卡尔费休法作为尿素水分检测的仲裁方法。本应用采用梅特勒-托利多 ET08 水分仪,以 5mg/mL 的卡尔费休为滴定剂,EM43 为指示电极测定尿素中的水分含量。													
样品	由氨和二氧化碳合成的尿素, 0.1g												
试剂	无水甲醇												
滴定液	单组份卡尔费休试剂 (5mg/mL)												
反应原理	$ROH + SO_2 + 3RN + I_2 + H_2O \rightarrow (RNH) \cdot SO_4R + 2(RNH)I$												
仪器	[]ET18 []ET28 []ET38 [√]ET08 []Easy Na												
电极	双铂针电极 EM43-BNC												
实验流程	滴定剂配制 ● 使用市售的单组份卡尔费休试剂, 5 (或者 2) mg/mL												
	滴定剂标定 ● 以无水甲醇为滴定溶剂, 待仪器预滴定和漂移稳定后, 精密称取 0.01000g 标准纯水至滴定杯中进行浓度测定, 平行测试后系统自动存储平均值为滴定剂浓度, 建议至少每周标定。												
	样品测定 ● 借助固体样品称量舟工具, 精密称取 0.1g (精确至 0.1mg) 样品至滴定杯中, 自动滴定水分含量。												
方法	<table border="0"> <tr> <td>滴定剂: 1-comp 5</td> <td>控制参数: 正常滴定</td> </tr> <tr> <td>实际浓度: 5.3715mg/mL</td> <td>样品编号: 自定义</td> </tr> <tr> <td>终点值: 100mV</td> <td>输入样品的量: 可变重量</td> </tr> <tr> <td>最大起始漂移: 5μL/min</td> <td>计算: [%]</td> </tr> <tr> <td>预搅拌时间: 30s</td> <td>平行样品的重复测定: 是</td> </tr> <tr> <td>搅拌速度: 高速</td> <td>报告: 详细报告</td> </tr> </table>	滴定剂: 1-comp 5	控制参数: 正常滴定	实际浓度: 5.3715mg/mL	样品编号: 自定义	终点值: 100mV	输入样品的量: 可变重量	最大起始漂移: 5μL/min	计算: [%]	预搅拌时间: 30s	平行样品的重复测定: 是	搅拌速度: 高速	报告: 详细报告
	滴定剂: 1-comp 5	控制参数: 正常滴定											
实际浓度: 5.3715mg/mL	样品编号: 自定义												
终点值: 100mV	输入样品的量: 可变重量												
最大起始漂移: 5μL/min	计算: [%]												
预搅拌时间: 30s	平行样品的重复测定: 是												
搅拌速度: 高速	报告: 详细报告												
结果	<p>KF 液标定结果: R1: 5.3715mg/mL R2: 5.3715mg/mL R3: 5.3714mg/mL 平均值: 5.3715mg/mL</p> <p>加氢汽油检测结果: R1: 0.22% R2: 0.22% R3: 0.22% R4: 0.22% 平均值: 0.22% RSD: 0%</p>												
废液	酸性甲醇溶液												
注意事项	<ul style="list-style-type: none"> 所用试剂和溶液易燃, 且对人体有一定毒害, 操作应小心谨慎, 请配戴护目镜, 口罩, 手套和穿着实验服。如溅到皮肤上应立即用水冲洗或适合的方式处理。 可预估产品水分含量, 如果含量偏低, 可适当增加样品量。 在预滴定之前可加入适当助溶剂, 使样品水分得到充分释放, 助溶剂参考下表: 												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>溶剂</th> <th>最大使用量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>甲醇</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>氯仿</td> <td>70%</td> </tr> <tr> <td>正癸醇、辛醇、己醇、十二烷醇</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>甲苯</td> <td>50%</td> </tr> </tbody> </table>	溶剂	最大使用量	甲醇	100%	氯仿	70%	正癸醇、辛醇、己醇、十二烷醇	50%	甲苯	50%		
溶剂	最大使用量												
甲醇	100%												
氯仿	70%												
正癸醇、辛醇、己醇、十二烷醇	50%												
甲苯	50%												
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> GB/T 2441.3-2010 尿素测定方法 水分的测定 卡尔费休法 GB/T 8577 复混肥料中游离水含量测定 卡尔费休法 												

尿素中碱度的测定	
<p>应用简介: 本方法根据 GB/T 2441.5-2010 尿素碱度容量检测方法, 使用盐酸作为滴定溶剂, 以水相酸碱电极 EG11 作为指示, 溶解样品后以 0.1mol/L HCl 溶液直接滴定, 得到样品的碱度值。本法具有无须加入指示剂, 所需样品量少, 灵敏度高, 采用等当点滴定模式无须校准电极等优点。</p>	
样品	尿素, 6g
试剂	去离子水
滴定液	0.1mol/L HCl 溶液
反应原理	$\text{HCl} + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$
仪器	[√]ET18 []ET28 []ET38 []ET08 []Easy Na
电极	玻璃电极 EG11-BNC
实验流程	<p>滴定剂配制</p> <ul style="list-style-type: none"> 在 1L 容量瓶中加入约 800mL 去离子水, 取市售浓盐酸 9mL, 缓慢加入容量瓶中, 加少稀释至 1000mL, 摇匀备用。
	<p>滴定剂标定</p> <ul style="list-style-type: none"> 精密称取 0.1g(精确至 0.1mg)于 270-300℃ 电烘箱中干燥至恒重的工作基准试剂无水碳酸钠, 溶于 50mL 无二氧化碳的水中, 用配制好的 HCl 溶液在正常模式下滴定至终点(选择以第二个等当点计算, 基准物当量数为 2)。临用前标定。
	<p>空白测定</p> <ul style="list-style-type: none"> 取 50mL 去离子水, 采用与样品测定相同条件直接滴定。
	<p>样品准备</p> <ul style="list-style-type: none"> 称取 6g(精确至 0.1mg)样品至 100mL 滴定杯中, 加入 50mL 水溶解, 直接滴定。
方法	<p>EQP/EP: EQP 结果用第几个等当点: 1 滴定类型: 减空白的样品分析 控制参数: 正常模式 样品编号: 自定义 搅拌速度: 中速 预先搅拌时间: 25s</p>
结果	<p>预加液: 0mL 输入样品的量: 不同重量 计算: [ppm] 分子量: 17g/mol 当量数: 1 平行样品的重复测定: 是 报告: 详细报告</p> <p>R1: 112ppm R2: 115ppm R3: 110ppm 平均值: 112ppm RSD: 2.2%</p> 
废液	酸性水溶液
注意事项	<ul style="list-style-type: none"> 样品具有挥发性和刺激性气味, 请佩戴护目镜, 口罩, 手套和穿着实验服。 样品溶剂吸潮结块, 请在取样前充分摇匀样品, 快速选取有代表性的样品。 如果选取的样品颗粒较大, 可以延长预先搅拌的时间。 每次检测完样品, 需要用去离子水冲洗电极, 再进行下一个样品的测试。
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> GBT 2441.5-2010 尿素的测定方法 第 5 部分: 碱度 容量法

复合肥中总氮含量的测定（蒸馏后滴定法）			
应用简介: 本方法根据 GB/T 8572-2010 标准检测方法, 采用梅特勒-托利多 ET18 酸碱滴定仪, 以水相酸碱电极 EG11 作为指示, 可以在碱性条件中将样品直接蒸馏出氨, 并吸收在过量硫酸溶液中, 以 0.5mol/L NaOH 滴定剂进行返滴定, 同样步骤未加样品进行空白滴定。本法具有无须加入指示剂, 所需样品量少, 灵敏度高, 采用等当点滴定模式无需校准电极等优点。			
样品	总氮含量不大于 235mg, 硝酸态氮含量不大于 60mg 的复合肥样品, 1g		
试剂	去离子水, 硫酸, 盐酸, 定氮合金, 氢氧化钠等		
滴定液	0.5mol/L NaOH 溶液		
反应原理	$H_2SO_4 + 2NH_4OH \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + 2H_2O$; $H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$		
仪器	[√]ET18 []ET28 []ET38 []ET08 []Easy Na		
电极	玻璃电极 EG11-BNC		
实验流程	滴定剂配制 <ul style="list-style-type: none"> 称取 110g(精确至 0.1mg)NaOH, 溶于 100mL 无 CO₂ 的水中, 摇匀, 注入 PE 容器中, 密闭放置至溶液清亮, 用塑料管量取 27mL 上层清液, 用无 CO₂ 的水稀释至 1L, 摇匀。试剂瓶盖上的干燥管内放置碱石灰保存。 		
	滴定剂标定 <ul style="list-style-type: none"> 称取 1.0g(精确至 0.1mg)于 105℃~110℃电烘箱中干燥至恒重的工作基准试剂邻苯二甲酸氢钾 (KHP), 缓慢加入无 CO₂ 的水 50mL 溶解, 在 ET18 上调用浓度测定方法进行浓度测定, 平行测试后系统自动存储平均值为滴定剂浓度, 建议至少每周标定。 		
	空白测定 <ul style="list-style-type: none"> 根据 GB/T 8572-2010, 采用不加样品的试剂, 与样品测定相同条件进行滴定。 		
	样品准备 <ul style="list-style-type: none"> 称取 1g(精确至 0.1mg)样品至 1L 蒸馏烧瓶中, 根据 GB/T 8572-2010 进行前处理, 消化完成用 0.5M NaOH 进行返滴定。 		
方法	<table border="0"> <tr> <td>EQP/EP: EQP 结果用几个等当点: 1 滴定类型: 返滴定/空白值测定 控制参数: 正常模式 样品编号: 自定义 搅拌速度: 中速 预先搅拌时间: 25s</td> <td> 预加液: 0mL 输入样品的量: 不同重量 计算: [%] 分子量: 14g/mol 当量数: 1 平行样品的重复测定: 是 报告: 详细报告 </td> </tr> </table>	EQP/EP: EQP 结果用几个等当点: 1 滴定类型: 返滴定/空白值测定 控制参数: 正常模式 样品编号: 自定义 搅拌速度: 中速 预先搅拌时间: 25s	预加液: 0mL 输入样品的量: 不同重量 计算: [%] 分子量: 14g/mol 当量数: 1 平行样品的重复测定: 是 报告: 详细报告
EQP/EP: EQP 结果用几个等当点: 1 滴定类型: 返滴定/空白值测定 控制参数: 正常模式 样品编号: 自定义 搅拌速度: 中速 预先搅拌时间: 25s	预加液: 0mL 输入样品的量: 不同重量 计算: [%] 分子量: 14g/mol 当量数: 1 平行样品的重复测定: 是 报告: 详细报告		
结果	<table border="0"> <tr> <td> R1: 34.79% R2: 34.80% R3: 34.75% 平均值: 34.78% RSD: 0.08% </td> <td> </td> </tr> </table>	R1: 34.79% R2: 34.80% R3: 34.75% 平均值: 34.78% RSD: 0.08%	
R1: 34.79% R2: 34.80% R3: 34.75% 平均值: 34.78% RSD: 0.08%			
废液	酸性水溶液		
注意事项	<ul style="list-style-type: none"> 样品具有挥发性和刺激性气味, 请配戴护目镜, 口罩, 手套和穿着实验服。 样品溶剂吸潮结块, 请在取样前充分摇匀样品, 快速选取有代表性的样品。 本方法不适用于含有有机物 (除尿素、氰氨基化合物外) 大于 7% 的复合肥。 需要确保蒸馏完全, 避免样品转移。 每次检测完样品, 需要用去离子水冲洗电极, 再进行下一个样品的测试。 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> GB/T 8572-2010 复混肥料中总氮含量的测定 蒸馏后滴定法 		

复合肥中氯离子含量的测定			
应用简介: 本方法依据沉淀滴定原理, 以 0.1mol/L 的硝酸银为滴定剂, 银电极 EM45-BNC 作为指示, 去离子水溶解样品后直接滴定。本法具有无须加入指示剂, 所需样品量少, 灵敏度高等优点。			
样品	复合肥样品, 1g		
试剂	水		
滴定液	0.1mol/L 的硝酸银溶液		
反应原理	$\text{Cl}^- + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{AgCl} \downarrow$		
仪器	[]ET18 [✓]ET28 []ET38 []ET08 []Easy Na		
电极	银电极 EM45-BNC		
实验流程	<p>滴定剂配制</p> <ul style="list-style-type: none"> 称取 17g(精确至 0.1mg)AgNO₃, 用水溶解并稀释至 1L, 混匀得 0.1mol/L AgNO₃ 备用。 <p>滴定剂标定</p> <ul style="list-style-type: none"> 精密称取 0.09g(精确至 0.01mg)基准氯化钠, 加 40mL 水溶解中, 用配制好的 0.1mol/L 的硝酸银滴定液在正常模式下滴定至终点。 <p>空白测定</p> <ul style="list-style-type: none"> 取 50mL 水, 采用与样品测定相同条件直接滴定。 <p>样品准备</p> <ul style="list-style-type: none"> 称取 1g(精确至 0.1mg)样品至 100mL 滴定杯中, 加入 50mL 水溶解, 直接滴定。 		
方法	<table border="1"> <tr> <td> 滴定剂: AgNO₃ 期望浓度: 0.1 mol/L 滴定度: 1.001 电极: 沉淀滴定 mV 结果用第几个等当点: 1 滴定类型: 减空白的样品分析 控制参数: 正常模式 样品编号: 自定义 搅拌速度: 最快 </td> <td> 预先搅拌时间: 60s 预加液: 0mL 输入样品的量: 不同重量 计算: [%] 分子量: 35.45g/mol 当量数: 1 平行样品的重复测定: 是 报告: 详细报告 </td> </tr> </table>	滴定剂: AgNO ₃ 期望浓度: 0.1 mol/L 滴定度: 1.001 电极: 沉淀滴定 mV 结果用第几个等当点: 1 滴定类型: 减空白的样品分析 控制参数: 正常模式 样品编号: 自定义 搅拌速度: 最快	预先搅拌时间: 60s 预加液: 0mL 输入样品的量: 不同重量 计算: [%] 分子量: 35.45g/mol 当量数: 1 平行样品的重复测定: 是 报告: 详细报告
滴定剂: AgNO ₃ 期望浓度: 0.1 mol/L 滴定度: 1.001 电极: 沉淀滴定 mV 结果用第几个等当点: 1 滴定类型: 减空白的样品分析 控制参数: 正常模式 样品编号: 自定义 搅拌速度: 最快	预先搅拌时间: 60s 预加液: 0mL 输入样品的量: 不同重量 计算: [%] 分子量: 35.45g/mol 当量数: 1 平行样品的重复测定: 是 报告: 详细报告		
结果	<table border="1"> <tr> <td> R1: 6.13% R2: 6.12% R3: 6.15% 平均值: 6.13% RSD: 0.25% </td> <td> </td> </tr> </table>	R1: 6.13% R2: 6.12% R3: 6.15% 平均值: 6.13% RSD: 0.25%	
R1: 6.13% R2: 6.12% R3: 6.15% 平均值: 6.13% RSD: 0.25%			
废液	水溶液		
注意事项	<ul style="list-style-type: none"> 样品具有挥发性和刺激性气味, 请配戴护目镜, 口罩, 手套和穿着实验服。 AgCl 沉淀容易积聚在电极表面, 每次检测完样品, 马上用去离子水冲洗电极, 除去沉淀物。 样品中可以加入少量硝酸溶液酸化样品, 避免干扰和促进反应进行。 样品开始滴定前, 可以加入适量乳化剂, 如聚乙烯醇。对反应产生的沉淀具有很好的分散作用, 不至于沉淀团聚在电极和滴定杯中。 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> GB 15063-2009 复混肥料(复合肥料) 		

滴定分析基础知识

本手册初步介绍了滴定分析技术，指出了滴定分析需要的基础知识，并将手工滴定和自动电位滴定作了比较。对不同的化学反应，指示原理和常规滴定类型也进行了阐明和解释。最后给出了实际操作中需要注意的事项。

卡尔费休滴定，作为一种特殊的滴定类型，在单独章节中进行了介绍。

www.mt.com/easyplustitration

www.mt.com/easyplustitration

访问网站，获得更多信息



梅特勒·托利多 实验室/过程分析/产品检测设备

地址：上海市桂平路589号
邮编：200233
电话：021-64850435
传真：021-64853351
E-mail: ad@mt.com

工业/商业衡器及系统

地址：江苏省常州市新北区
太湖西路111号
邮编：213125
电话：0519-86642040
传真：0519-86641991
E-mail: ad@mt.com

北京分公司
电话：010-58523688

天津分公司
电话：022-23195151

重庆分公司
电话：023-62955089

广州分公司
电话：020-32068786

成都分公司
电话：028-85975916

厦门分公司
电话：0592-2070609

长沙分公司
电话：0731-82280150

南京分公司
电话：025-86898266

武汉分公司
电话：027-85712292

长春分公司
电话：0431-84664598

大连分公司
电话：0411-62631997

石家庄分公司
电话：0311-86030316

西安分公司
电话：029-87203500

新疆分公司
电话：0991-3736253

昆明分公司
电话：0871-3156835

郑州分公司
电话：0371-65628818

杭州分公司
电话：0571-85271808

济南分公司
电话：0531-86027658

青岛分公司
电话：0532-85768231



欢迎添加实验室微信号



微信号：MT-LAB

梅特勒·托利多始终致力于其产品功能的改进工作。基于该原因，产品的技术规格亦会受到更改。
如遇上述情况，恕不另行通知。 12320606 Printed in P.R. China 2014/12