

# 中华人民共和国国家标准

GB 8538—XXXX

## 食品安全国家标准 饮用天然矿泉水检验方法

(征求意见稿)

食品安全国家标准公开征求意见稿

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国国家卫生健康委员会  
国家市场监督管理总局 发布

## 目录

前言.....	III
1 范围.....	1
2 色度的测定.....	1
3 臭和味.....	2
4 可见物.....	2
5 浑浊度.....	2
6 pH 值（玻璃电极法）.....	3
7 溶解性总固体.....	4
8 总硬度.....	5
9 总碱度.....	7
10 总酸度.....	8
11 多元素测定.....	9
12 钾和钠.....	13
13 钙.....	17
14 镁.....	19
15 铁.....	21
16 锰.....	22
17 铜.....	25
18 锌.....	31
19 总铬—石墨炉原子吸收光谱法.....	32
20 铅.....	34
21 镉.....	36
22 总汞.....	39
23 银.....	42
24 锶.....	43
25 锂.....	46
26 钡.....	50
27 钒.....	51
28 铋.....	55
29 钴.....	58
30 镍.....	61
31 铝.....	64
32 硒.....	68
33 砷.....	73
34 硼酸盐.....	78
35 偏硅酸.....	81
36 氟化物.....	84
37 氯化物.....	90
38 碘化物.....	92
39 二氧化碳.....	98
40 硝酸盐.....	99
41 亚硝酸盐.....	101

42 碳酸盐和碳酸氢盐.....	102
43 硫酸盐.....	104
44 耗氧量.....	108
45 氰化物.....	105
46 挥发性酚类化合物.....	109
47 阴离子合成洗涤剂.....	109
48 矿物油.....	120
49 溴酸盐.....	121
50 硫化物.....	131
51 磷酸盐.....	128
52 总 $\beta$ 放射性.....	129
53 氚.....	132
54 $^{226}\text{Ra}$ 放射性.....	136
55 大肠菌群.....	145
56 粪链球菌.....	152
57 铜绿假单胞菌.....	154
58 产气荚膜梭菌.....	158
附录 A 培养基与试剂.....	161
附录 B 饮用天然矿泉水的采集和保存.....	170

食品安全国家标准公开征求意见

## 前 言

本标准代替GB 8538-2016《食品安全国家标准 饮用天然矿泉水检验方法》。

与GB 8538-2016相比，主要变化如下：

- 修改了大肠菌群多管发酵检验方法；
- 铜绿假单胞菌确证性试验增加了“42℃生长试验”内容；
- 修改了产气荚膜梭菌计数方法和计数培养基；
- 删除了产气荚膜梭菌确证性试验中的“卵磷脂分解试验”内容，增加“乳糖-明胶试验”内容；
- 大肠菌群、粪链球菌和铜绿假单胞菌检验方法中水样稀释液统一为“无菌生理盐水”或“无菌磷酸盐缓冲液”；
- 删除了粪链球菌、铜绿假单胞菌和产气荚膜梭菌检验方法中“在100级的洁净工作台进行过滤操作”的相关内容；
- 修改了“56.7其他”、“57.7其他”和“58.7其他”标题及相关内容；
- 修改了大肠菌群（滤膜法）、粪链球菌、铜绿假单胞菌和产气荚膜梭菌挑取用于确证性试验的可疑菌落数量；
- 附录B中增加了微生物检验水样的采样、保存的方法和要求。

食品安全国家标准公开征求意见稿

# 食品安全国家标准

## 饮用天然矿泉水检验方法

### 1 范围

本标准规定了饮用天然矿泉水中色度、臭和味、可见物、浑浊度、pH、溶解性总固体、总硬度、总碱度、总酸度、多元素测定、钾和钠、钙、镁、铁、锰、铜、锌、总铬、铅、镉、总汞、银、锶、锂、钡、钒、锑、钴、镍、铝、硒、砷、硼酸盐、偏硅酸、氟化物、氯化物、碘化物、二氧化碳、硝酸盐、亚硝酸盐、碳酸盐和碳酸氢盐、硫酸盐、耗氧量、氰化物、挥发性酚类化合物、阴离子合成洗涤剂、矿物油、溴酸盐、硫化物、磷酸盐、总 $\beta$ 放射性、氡、镭<sup>226</sup>放射性、大肠菌群、粪链球菌、铜绿假单胞菌、产气荚膜梭菌的测定方法。

本标准适用于饮用天然矿泉水指标的测定。

### 2 色度的测定

#### 2.1 原理

用氯铂酸钾和氯化钴配制成与天然水黄色色调相同的标准色列，用于水样目视比色测定。规定 1mg/L Pt[以 $(\text{PtCl}_6)^{2-}$ 形式存在]所具有的颜色作为 1 个色度单位，称为 1 度。即便轻微的浑浊度也干扰测定，故浑浊水样测定时需先离心使之清澈。

#### 2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为GB/T 6682规定的三级水。

2.2.1 氯铂酸钾 ( $\text{K}_2\text{PtCl}_6$ )。

2.2.2 氯化钴 ( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )。

2.2.3 铂-钴标准溶液：准确称取 1.246 g 氯铂酸钾( $\text{K}_2\text{PtCl}_6$ )和 1.000 g 干燥的氯化钴 ( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )，溶于 100 mL 水中，加入 100 mL 盐酸 ( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ )，用水定容至 1 000 mL。此标准溶液的色度为 500 度。

#### 2.3 仪器和设备

2.3.1 无色具塞比色管：50 mL。

2.3.2 离心机。

2.3.3 分析天平：感量为 0.1 mg。

#### 2.4 分析步骤

##### 2.4.1 试样处理

吸取 50 mL 透明的水样于比色管中。如水样色度过高，可少取水样，加水稀释后比色，将结果乘以稀释倍数。

##### 2.4.2 测定

另取比色管 11 支，分别加入铂-钴标准溶液 (2.2.3) 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、1.50 mL、2.00 mL、2.50 mL、3.00 mL、3.50 mL、4.00 mL、4.50 mL 和 5.00 mL，加水至刻度，摇匀，即配制成色度为 0 度、5 度、10 度、15 度、20 度、25 度、30 度、35 度、40 度、45 度和 50 度的标准系列。

将水样与铂-钴标准色列比较，如水样与标准系列的色调不一致，即为异色，可用文字描述。

## 2.5 分析结果的表述

试样中色度按式（1）计算：

$$\text{色度} = \frac{V_1 \times 500}{V} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

色度——单位为度；

$V_1$ ——相当于铂-钴标准溶液的用量，单位为毫升（mL）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）。

## 3 臭和味

### 3.1 臭分析步骤

量取 100 mL 水样，置于 250 mL 锥形瓶中，振摇后从瓶口嗅水的气味，用适当词句描述，并按等级记录其强度，见表 1。

### 3.2 味分析步骤

取少量水样放入口中(此水样应对人体无害)，不要咽下去，品尝水的味道，加以描述，并按等级记录其强度，见表 1。

表 1 臭和味的强度等级

等级	强度	说明
0	无	无任何臭和味
1	微弱	一般饮用者甚难察觉，但臭、味敏感者可以发觉
2	弱	一般饮用者刚能察觉
3	明显	已能明显察觉
4	强	已有很显著的臭味
5	很强	有强烈的恶臭或异味

## 4 可见物

将水样摇匀，用肉眼直接观察，记录。

## 5 浑浊度

### 5.1 原理

在相同条件下用福尔马肼标准混悬液散射光的强度和水样散射光的强度进行比较。散射光的强度越大，表示浑浊度越高。

### 5.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为GB/T 6682规定的三级水。

5.2.1 硫酸肼溶液(10g/L)：准确称取 1.000 g 硫酸肼[(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]加水溶解，并定容至 100 mL 容量瓶中。

注：溶液具有致癌毒性，避免吸入、摄入和和皮肤接触！

5.2.2 六亚甲基四胺溶液(100g/L)：准确称取 10.00 g 六亚甲基四胺[(CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>N<sub>4</sub>]加水溶解，并定容至 100 mL 容量瓶中。

5.2.3 福尔马肼标准混悬液：分别吸取 5.00 mL 硫酸肼溶液，5.00 mL 六亚甲基四胺溶液于 100 mL 容量瓶内，混匀，在 25℃±3℃ 放置 24 h 后，加入水至刻度，混匀。此标准混悬液浑浊度为 400 NTU。本标准溶液可使用一个月。

5.2.4 福尔马肼标准工作液：将福尔马肼标准混悬液用水稀释 10 倍。稀释后浑浊度为 40 NTU，使用时再根据需要适当稀释。

### 5.3 仪器和设备

散射式浊度仪。

### 5.4 分析步骤

按仪器使用说明书进行操作，浑浊度超过 40 NTU 时，可用水稀释后测定。

### 5.5 分析结果的表述

根据仪器测定时所显示的浑浊度读数乘以稀释倍数计算出结果。

## 6 pH（玻璃电极法）

### 6.1 原理

pH 是水中氢离子活度倒数的对数值，是评价水质的重要参数。水受到污染时会引起 pH 发生较大变化；水中含有大量游离二氧化碳时，可使水的 pH 明显降低。水的 pH 用玻璃电极法测定。

以玻璃电极为指示电极，饱和甘汞电极为参比电极，插入溶液中组成原电池。当氢离子浓度发生变化时，玻璃电极和甘汞电极之间的电动势也随着引起变化；在 25℃ 时，每单位 pH 标度相当于 59.1mV 电动势变化值，在仪器上直接以 pH 的读数表示。温度差异在仪器上有补偿装置。

### 6.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

6.2.1 苯二甲酸氢钾标准缓冲溶液：准确称取 10.21 g 在 105℃ 烘干 2 h 的苯二甲酸氢钾( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ )，溶于水，并稀释至 1 000 mL，此溶液的 pH 在 20℃ 时为 4.00，不同温度下的 pH 见表 2。

6.2.2 混合磷酸盐标准缓冲溶液：准确称取 3.40 g 在 105℃ 烘干 2 h 的磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )和 3.55 g 磷酸氢二钠( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )，溶于水，并稀释至 1 000 mL。此溶液的 pH 在 20℃ 时为 6.88，不同温度下的 pH 见表 2。

6.2.3 四硼酸钠标准缓冲溶液：称取 3.81 g 四硼酸钠( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )，溶于水，并稀释至 1 000 mL，此溶液的 pH 在 20℃ 时为 9.22，不同温度的 pH 下见表 2。

表 2 标准缓冲溶液在不同温度时的 pH

温度 ℃	标准缓冲溶液，pH		
	苯二甲酸氢钾缓冲溶液（6.2.1）	混合磷酸盐缓冲溶液（6.2.2）	四硼酸钠缓冲溶液（6.2.3）
0	4.00	6.98	9.46
5	4.00	6.95	9.40
10	4.00	6.92	9.33
15	4.00	6.90	9.28
20	4.00	6.88	9.22
25	4.01	6.86	9.18
30	4.02	6.85	9.14
35	4.02	6.84	9.10

表 2(续)

温度 ℃	标准缓冲溶液, pH		
	苯二甲酸氢钾缓冲溶液 (6.2.1)	混合磷酸盐缓冲溶液 (6.2.2)	四硼酸钠缓冲溶液 (6.2.3)
40	4.04	6.84	9.07

### 6.3 仪器和设备

6.3.1 pH 计: 测量范围 0~14; 读数精度 $\leq 0.02$ 。

6.3.2 玻璃电极。

6.3.3 饱和甘汞电极。

### 6.4 分析步骤

6.4.1 玻璃电极在使用前应放入水中浸泡 24h 以上。

6.4.2 仪器校正: 仪器开启半小时后, 按仪器使用说明书操作, 进行调零、温度补偿以及满刻度校正。

6.4.3 pH 定位: 选用一种与被测水样 pH 接近的标准缓冲溶液, 重复定位 1 次~2 次, 当水样 pH $< 7.0$  时, 使用苯二甲酸氢钾缓冲溶液定位, 以四硼酸钠标准缓冲溶液或混合磷酸盐缓冲溶液复定位; 水样 pH $> 7.0$  时, 则用四硼酸钠缓冲溶液定位, 以苯二甲酸氢钾缓冲溶液或混合磷酸盐缓冲溶液复定位。

6.4.4 用洗瓶以水缓缓淋洗两个电极数次, 再以水样淋洗 6 次~8 次, 然后插入水样中, 1 min 后直接从仪器上读出 pH。

注 1: 当室温升高时, 甘汞电极内的饱和氯化钾溶液可能由饱和状态变为不饱和状态, 故电极内应保持一定量氯化钾晶体。

注 2: pH $> 9$  的溶液, 应使用高碱玻璃电极测定 pH。

## 7 溶解性总固体

### 7.1 105℃干燥—重量法

#### 7.1.1 原理

溶解性总固体是水中溶解的无机矿物成分的总量。水样经 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤除去悬浮物, 取一定体积滤液蒸干, 在 105  $^{\circ}\text{C}$  干燥至恒重, 可测得蒸发残渣含量, 将溶解性固体含量加上碳酸氢盐含量的一半(碳酸氢盐在干燥时分解失去二氧化碳而转化为碳酸盐)即为溶解性总固体。

#### 7.1.2 仪器和设备

7.1.2.1 瓷蒸发皿。

7.1.2.2 烘箱: 控温精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

7.1.2.3 水浴槽。

7.1.2.4 干燥器。

7.1.2.5 分析天平: 感量 0.1 mg。

#### 7.1.3 分析步骤

将洗净的瓷蒸发皿放入烘箱内于 105  $^{\circ}\text{C}$  干燥 1 h, 然后取出放干燥器内冷却至室温, 称重。重复干燥、冷却、称重, 直至恒重(连续两次的称量差值小于 0.0005 g)。

吸取适量(使测得可溶性固体为 2.5 mg~200 mg)清澈水样(含有悬浮物的水样应经 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤)于已恒重的瓷蒸发皿中, 在水浴上蒸干。

将瓷蒸发皿放入烘箱内, 于 105  $^{\circ}\text{C}$  干燥 1 h, 然后取出放干燥器内冷却至室温, 称量。重复干燥、冷却、称量, 直至恒重。

#### 7.1.4 分析结果的表述

试样中溶解性总固体的含量按式 (2) 计算:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1) \times 1000}{V} + \frac{1}{2} \rho(\text{HCO}_3^-) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\rho$ ——水样中的溶解性总固体的含量, 单位为毫克每升 (mg/L);

$m_2$ ——瓷蒸发皿和溶解性固体质量, 单位为毫克 (mg);

$m_1$ ——瓷蒸发皿质量, 单位为毫克 (mg);

1 000——换算系数;

$V$ ——水样体积, 单位为毫升 (mL);

$\rho(\text{HCO}_3^-)$ ——碳酸氢盐的含量, 单位为毫克每升 (mg/L)。

### 7.1.5 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的10%。

## 7.2 180℃干燥—重量法

### 7.2.1 原理

当水样存在永久硬度时, 构成永久硬度的钙、镁离子在蒸干时形成硫酸盐和氯化物, 用 105℃干燥法测定时, 由于钙、镁的硫酸盐所含结晶水不能去除完全, 将使结果偏高; 钙、镁的氯化物由于具有很强的吸湿性, 对测量精度也将产生影响。向水样中预先加入适量的碳酸钠, 使钙、镁离子在蒸干后形成碳酸盐, 并在 180℃干燥, 将使上述影响得以消除。

### 7.2.2 试剂和材料

碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )。

### 7.2.3 仪器和设备

同 7.1.2。

### 7.2.4 分析步骤

称取 0.2 g~0.4 g 碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )于洗净的瓷蒸发皿中, 放入烘箱于 180℃干燥 2 h。取出放干燥器中冷却至室温, 称重。重复干燥、冷却、称重, 直至恒重(连续两次称量差值小于 0.0005 g)。

吸取适量清澈水样于已恒重的瓷蒸发皿中, 在水浴上蒸干。

将瓷蒸发皿在烘箱内于 180℃干燥 2 h, 然后取出放干燥器中冷却至室温, 称量。重复干燥、冷却、称量, 直至恒重。

### 7.2.5 分析结果的表述

同 7.1.4。

### 7.2.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的10%。

## 8 总硬度

### 8.1 原理

当水样中有铬黑 T 指示剂存在时, 与钙、镁离子形成紫红色螯合物, 这些螯合物不稳定常数大于乙二胺四乙酸钙和镁螯合物的不稳定常数。当  $\text{pH}=10$  时, 乙二胺四乙酸二钠先与钙离子, 再与镁离子形成螯合物, 滴定终点时, 溶液呈现出铬黑 T 指示剂的蓝色。

由于钙离子与铬黑 T 指示剂在滴定到达等当点时的反应不能呈现出明显的颜色转变, 所以当水样中镁含量很小时, 需要加入已知量的镁盐, 以使等当点颜色转变清晰, 在计算结果时, 再减去加入的镁盐量, 或者在缓冲溶液中加入少量络合性乙二胺四乙酸镁盐, 以保证明显的终点。

### 8.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为GB/T 6682规定的三级水。

8.2.1 缓冲溶液(pH=10): 将 67.5 g 氯化铵 (NH<sub>4</sub>Cl) 溶于 300 mL 蒸馏水中, 加 570 mL 氢氧化铵(ρ<sub>20</sub>=0.90 g/mL), 用水稀释至 1 000 mL。

8.2.2 铬黑 T 指示剂(5 g/L): 准确称取 0.5 g 铬黑 T(C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>N<sub>3</sub>NaO<sub>7</sub>S), 溶于 100 mL 三乙醇胺(C<sub>6</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>3</sub>)中。

8.2.3 硫化钠溶液(50g/L): 准确称取 5.0 g 硫化钠(Na<sub>2</sub>S 9H<sub>2</sub>O), 溶于水中, 并稀释至 100 mL。

8.2.4 盐酸羟胺溶液(10 g/L): 准确称取 1.0 g 盐酸羟胺(NH<sub>2</sub>OH HCl), 溶于水中, 并稀释至 100 mL。

8.2.5 氰化钾溶液(100 g/L): 准确称取 10.0 g 氰化钾(KCN), 溶于水中, 并稀释至 100 mL。

注: 此溶液剧毒。

8.2.6 乙二胺四乙酸二钠标准溶液 (EDTA-2Na 标准溶液) [c(C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>Na<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O)=0.01 mol/L]: 准确称取 3.72 g 乙二胺四乙酸二钠(简称 EDTA-2Na), 溶解于 1 000 mL 蒸馏水中, 按 8.2.6.1~8.2.6.2 标定其准确浓度。

8.2.6.1 锌标准溶液: 准确称取 0.6 g~0.7 g 纯金属锌粒, 溶于盐酸溶液(1+1)中, 置于水浴上温热至完全溶解, 移入容量瓶中, 定容至 1 000 mL。

锌标准溶液的浓度按式 (3) 计算:

$$c(\text{Zn}) = \frac{m}{65.38 \times V} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$c(\text{Zn})$ ——锌标准溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

$m$ ——锌的质量, 单位为克 (g);

65.38——锌的摩尔质量, 单位为克每摩尔 (g/mol);

$V$ ——定容体积, 单位为升 (L)。

8.2.6.2 吸取 25.0 mL 锌标准溶液于 150 mL 锥形瓶中, 加入 25 mL 蒸馏水, 加入几滴氨水至有微弱氨味, 再加 5 mL 缓冲溶液和 4 滴铬黑 T 指示剂, 在不断振荡下, 用 EDTA-2Na 标准溶液滴定至不变的蓝色, 同时做空白试验。

EDTA-2Na 标准溶液的浓度按式 (4) 计算:

$$c(\text{EDTA-2Na}) = \frac{c(\text{Zn}) \times V_2 \times 1000}{(V_1 - V_0) \times 1000} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$c(\text{EDTA-2Na})$ ——EDTA-2Na 标准溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

$c(\text{Zn})$ ——锌标准溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

$V_2$ ——锌标准溶液的体积, 单位为毫升 (mL);

$V_1$ ——消耗 EDTA-2Na 标准溶液的体积, 单位为毫升 (mL);

$V_0$ ——空白试验消耗 EDTA-2Na 标准溶液的体积, 单位为毫升 (mL)

1 000——单位换算系数。

### 8.3 仪器和设备

8.3.1 滴定管: 25 mL。

8.3.2 移液管: 50 mL, 25 mL 和 5 mL。

8.3.3 锥形瓶: 150 mL。

8.3.4 分析天平: 感量为 0.01 g。

### 8.4 分析步骤

8.4.1 吸取 50.0 mL 水样(若硬度过大,可少取水样,用水稀释至 50 mL,若硬度过低,改用 100 mL),置于 150 mL 锥形瓶中。

8.4.2 加入 1 mL~2 mL 缓冲溶液、5 滴铬黑 T 指示剂,立即用 EDTA-2Na 标准溶液滴定至溶液从紫红色成为不变的天蓝色为止,同时做空白试验,记录用量。

8.4.3 若水样中含有金属干扰离子,使滴定终点延迟或颜色发暗,可另取水样,加入 0.5 mL 盐酸羟胺及 1 mL 硫化钠溶液或 0.5 mL 氰化钾溶液再行滴定。

8.4.4 水样中钙、镁含量较大时,要预先酸化水样,并加热除去二氧化碳,以防碱化后生成碳酸盐沉淀,滴定时不易转化。

## 8.5 分析结果的表述

试样中总硬度按式(5)计算:

$$\rho(\text{CaCO}_3) = \frac{(V_1 - V_0) \times c(\text{EDTA-2Na}) \times 100.09}{V} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$\rho(\text{CaCO}_3)$ ——总硬度(以  $\text{CaCO}_3$  计),单位为毫克每升 (mg/L);

$V_1$ ——滴定中消耗 EDTA-2Na 标准溶液体积,单位为毫升 (mL);

$V_0$ ——空白消耗 EDTA-2Na 标准溶液体积,单位为毫升 (mL);

$c(\text{EDTA-2Na})$ ——EDTA-2Na 标准溶液的浓度,单位为摩尔每升 (mol/L);

100.09——与 1.00 mL EDTA-2Na 标准溶液 [ $c(\text{EDTA-2Na})=1.000 \text{ mol/L}$ ] 相当的以克表示的碳酸钙的质量;

$V$ ——水样体积,单位为毫升 (mL)。

## 8.6 精密度

在重复性条件下,获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的10%。

## 9 总碱度

### 9.1 原理

碱度是水介质与氢离子反应的定量能力,通过用强酸标准溶液将一定体积的水样滴定至某一 pH 而定量确定。测定结果用相当于碳酸钙的含量, mg/L 为单位表示。其数值大小与所选滴定终点的 pH 有关。本法采用甲基橙作指示剂,终点 pH 为 4.0,所测得的碱度称总碱度。

### 9.2 试剂和材料

除非另有规定,本方法中所用试剂均为分析纯,水为 GB/T 6682 规定的三级水。

#### 9.2.1 盐酸标准溶液 [ $c(\text{HCl})=0.05 \text{ mol/L}$ ]

配制:量取 4.2 mL 盐酸 [ $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ ],溶于水中,并稀释至 1 000 mL。

标定:称取 0.1 g~0.2 g(准确到 0.0001 g)于 250 °C 干燥至恒重的碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,基准试剂)于 250 mL 锥形瓶中,加 50 mL 水溶解,加 4 滴甲基橙指示剂,用配制的盐酸溶液滴定至溶液由黄色突变为橙色。同时做空白试验。

盐酸标准溶液浓度按式(6)计算:

$$c(\text{HCl}) = \frac{m \times 1000}{(V - V_0) \times 52.99} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$c(\text{HCl})$ ——盐酸标准溶液的浓度,单位为摩尔每升 (mol/L);

$m$ ——碳酸钠的质量,单位为克 (g);

$V$ ——滴定碳酸钠所消耗盐酸标准溶液的体积，单位为毫升（mL）；

$V_0$ ——空白试验消耗盐酸标准溶液的体积，单位为毫升（mL）；

52.99——与 1.00 mL 盐酸标准溶液[ $c(\text{HCl})=1.000 \text{ mol/L}$ ]相当的以克表示的碳酸钠的质量；

1 000——单位换算系数。

9.2.2 甲基橙指示剂(0.5 g/L)：称取 0.050 g 甲基橙( $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{O}_3\text{N}_3\text{SNa}$ )，溶于 70 °C 的水中，冷却，稀释至 100 mL。

### 9.3 仪器和设备

9.3.1 滴定管：25 mL。

9.3.2 移液管：50 mL。

9.3.3 锥形瓶：250 mL。

9.3.4 分析天平：感量为 0.1 mg 和 0.01 g。

### 9.4 分析步骤

吸取 50.0 mL 水样于 250 mL 锥形瓶中，加 4 滴甲基橙指示剂，用盐酸标准溶液滴定至试液由黄色突变为橙色。

### 9.5 分析结果的表述

试样中总碱度按式 (7) 计算：

$$\rho(\text{CaCO}_3) = \frac{c(\text{HCl}) \times 50.04 \times V_1 \times 1000}{V \times 1000} \times 1000 \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$\rho(\text{CaCO}_3)$ ——水样的总碱度，单位为毫克每升（mg/L）；

$c(\text{HCl})$ ——盐酸标准溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

50.04——与 1.00 mL 氢氧化钠标准溶液[ $c(\text{NaOH})=1.000 \text{ mol/L}$ ]相当的以克表示的总碱度（以  $\text{CaCO}_3$ ）的质量；

$V_1$ ——滴定水样消耗标准盐酸溶液的体积，单位为毫升（mL）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）；

1 000——单位换算系数。

### 9.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

## 10 总酸度

### 10.1 原理

酸度是水介质与氢氧化物反应的定量能力，通过用强碱标准溶液将一定体积的水样滴定至某一 pH 而定量确定。测量结果用相当于碳酸钙( $\text{CaCO}_3$ )的含量，以 mg/L 为单位表示。其数值大小与所选滴定终点的 pH 有关。本法采用酚酞作指示剂，终点 pH 为 8.3，所测定的酸度称为总酸度。

### 10.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

10.2.1 无二氧化碳水：将水煮沸 15 min，然后在不与大气二氧化碳接触的条件下冷却至室温。此水 pH 应大于 6.0，否则应延长煮沸时间。最好用时制备。

10.2.2 氢氧化钠标准溶液[ $c(\text{NaOH})=0.05 \text{ mol/L}$ ]

#### 10.2.2.1 配制

称取 20 g 氢氧化钠，溶于 100 mL 水中，摇匀，移入聚乙烯瓶中，密闭放置至溶液清亮。吸取上层清液 10 mL，注入装有 1 000 mL 水的聚乙烯瓶中，密闭保存。

#### 10.2.2.2 标定

称取 0.2 g~0.3 g(精确到 0.0001 g)于 105 °C~110 °C 干燥至恒重的邻苯二甲酸氢钾(KHC<sub>8</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>，基准试剂)于 250 mL 锥形瓶中，加 50 mL 水溶解，加 4 滴酚酞指示剂，用配制的氢氧化钠溶液滴定至粉红色。同时做空白试验。

氢氧化钠标准溶液浓度按式 (8) 计算：

$$c(\text{NaOH}) = \frac{m}{(V - V_0) \times 0.2042} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$c(\text{NaOH})$ ——氢氧化钠标准溶液的浓度，单位为摩尔每升 (mol/L)；

$m$ ——邻苯二甲酸氢钾的质量，单位为克 (g)；

$V$ ——滴定邻苯二甲酸氢钾所消耗氢氧化钠标准溶液的体积，单位为毫升 (mL)；

$V_0$ ——空白试验消耗氢氧化钠标准溶液的体积，单位为毫升 (mL)；

0.2042——与 1.00 mL 氢氧化钠标准溶液 [ $c(\text{NaOH})=1.000 \text{ mol/L}$ ] 相当的以克表示的邻苯二甲酸氢钾的质量。

10.2.3 酚酞指示剂(5 g/L)：称取 0.25 g 酚酞(C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>)，用乙醇( $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ )溶解并稀释至 50 mL。

### 10.3 仪器和设备

10.3.1 滴定管：25 mL。

10.3.2 移液管：50 mL。

10.3.3 锥形瓶：250 mL。

### 10.4 分析步骤

吸取 50.0 mL 水样于 250 mL 锥形瓶中，加 4 滴酚酞指示剂，用氢氧化钠标准溶液滴定至恰呈浅粉红色，记录其用量。

### 10.5 分析结果的表述

试样中总酸度按式 (9) 计算：

$$\rho(\text{CaCO}_3) = \frac{c(\text{NaOH}) \times 50.04 \times V_1}{V} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\rho(\text{CaCO}_3)$ ——水样的总酸度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$c(\text{NaOH})$ ——氢氧化钠标准溶液的浓度，单位为摩尔每升 (mol/L)；

50.04——与 1.00 mL 氢氧化钠标准溶液 [ $c(\text{NaOH})=1.000 \text{ mol/L}$ ] 相当的以克表示的总酸度(以 CaCO<sub>3</sub> 计)的质量；

$V_1$ ——滴定水样消耗氢氧化钠标准溶液的体积，单位为毫升 (mL)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1000——换算系数。

### 10.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

## 11 多元素测定

## 11.1 电感耦合等离子体发射光谱法

### 11.1.1 原理

利用 ICP 源等离子体产生的高温，使试样完全分解形成激发态的原子和离子，由于激发态的原子和离子不稳定，外层电子会从激发态向低的能级跃迁，因此发射出特征的谱线，通过光栅等分光后，利用检测器检测特定波长的强度，光的强度与待测元素浓度成正比。

### 11.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为GB/T 6682规定的一级水。

#### 11.1.2.1 硝酸 ( $\rho=1.42 \text{ g/mL}$ )。

#### 11.1.2.2 硝酸溶液 (2+98)。

11.1.2.3 金属离子标准储备溶液：选用相应浓度的持证混合标准溶液、单标溶液，并稀释到所需浓度。

11.1.2.4 混合校准标准溶液：配制混合校准标准溶液，其浓度为 10 mg/L。

### 11.1.3 仪器和设备

11.1.3.1 电感耦合等离子体发射光谱仪，具有轴向或者双向观测功能的仪器。

11.1.3.2 超纯水制备仪

### 11.1.4 分析步骤

11.1.4.1 仪器操作条件：根据所使用仪器制造厂家的说明，使仪器达到最佳工作状态。

11.1.4.2 标准系列的制备：吸取标准工作溶液，用硝酸溶液配制铝、钡、铍、硼、钙、铬、钴、铜、铁、镁、锰、钼、镍、钾、硅、银、钠、锶、钒和锌混合标准 0mg/L, 0.1mg/L, 0.5mg/L, 1.0mg/L, 1.5mg/L, 2.0mg/L, 5.0mg/L。

11.1.4.3 标准系列的测定：仪器开机，点火稳定达到测定条件后。分别测定标准系列，绘制校准曲线，计算回归方程。

11.1.4.4 试样的测定：直接进样。

### 11.1.5 分析结果的表述

根据试样信号计数，从校准曲线或回归方程中查得试样中各元素含量(mg/L)。

#### 11.1.5.1 校正

11.1.5.1.1 稀释校正：如果试样在制备过程中稀释或浓缩，稀释系数 ( $DF$ ) 按式(10)计算：

$$DF = \frac{\text{最后的质量或体积}}{\text{开始的质量或体积}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

11.1.5.1.2 光谱干扰校正：用厂家提供的计算机软件校正光谱干扰或者用一种基于校正干扰系数的方法来校正光谱干扰。在同样品相近的条件下对浓度适当的单一元素储备液进行分析来测定干扰校正系数。除非每天的分析条件都相同或长期一致。每次测定样品时，其结果产生影响的干扰校正系数也要进行测定。从高纯的储备溶液按式 (11) 计算干扰校正系数 ( $K_{ij}$ )。

$$K_{ij} = \frac{\text{元素 } i \text{ 的表观浓度}}{\text{干扰元素 } j \text{ 的实际浓度}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

元素  $i$  的浓度在储备液中和在空白中不同。对元素  $i$  和元素  $j$ 、 $k$ 、 $l$  光谱干扰的校正浓度可用下式计算（已经对基线漂移进行校正）。

元素  $i$  光谱干扰校正浓度 =  $i$  浓度 - ( $K_{ij}$ ) × (干扰元素  $j$  浓度) - ( $K_{ik}$ ) × (干扰元素  $k$  浓度) - ( $K_{il}$ ) × (干扰元素  $l$  浓度)。

如果背景校正用于元素  $i$  则干扰校正系数可能为负值。干扰线在波长背景中要比在波长峰顶上  $K_{ij}$  为负的几率大。在元素  $j$ 、 $k$ 、 $l$  的线性范围内测定其浓度值。对于计算相互干扰需要迭代法或矩阵法。

11.1.5.1.3 非光谱干扰校正：如果非光谱干扰校正是必要的，可以采用标准加入法。元素在加入标准中和在试样中的物理和化学形式是一样的。干扰作用不受加标金属浓度的影响，加标浓度在试样中元素浓度的50%到100%之间，以便不会降低测量精度，多元素影响的干扰也不会带来错误的结果。仔细选择离线点后，用背景校正将该方法用于试样系列中所有的元素。如果加入元素不会引起干扰则可以考虑多元素标准加入法。

#### 11.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的10%。

#### 11.1.7 其他

本法对各种元素的定量限、所用测量波长见表3。

表3 推荐的波长、定量限

元素	波长 /nm	定量限 ( $\mu\text{g/L}$ )	元素	波长 /nm	定量限 ( $\mu\text{g/L}$ )
铝	308.22	40	锰	257.61	0.5
钡	455.40	1	钼	202.03	8
铍	313.04	0.2	镍	231.60	6
硼	249.77	11	钾	766.49	20
钙	317.93	11	钴	228.62	2.5
铬	267.72	19	硅 ( $\text{SiO}_2$ )	212.41	20
铜	324.75	9	银	328.07	13
铁	259.94	4.5	钠	589.00	5
镁	279.08	13	钒	292.40	5
锌	213.86	1	锶	407.77	0.5
锂	670.78	1	—	—	—

### 11.2 电感耦合等离子体质谱法

#### 11.2.1 原理

ICP-MS 由离子源和质谱仪两个主要部分构成。试样溶液经过雾化由载气送入 ICP 炬焰中，经过蒸发、解离、原子化、电离等过程，转化为带正电荷的正离子，经离子采集系统进入质谱仪，质谱仪根据质荷比进行分离。对于一定的质荷比，质谱积分面积与进入质谱仪中的离子数成正比。即试样的浓度与质谱的积分面积成正比，通过测量质谱的峰面积来测定试样中元素的浓度。

#### 11.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为GB/T 6682规定的一级水。

11.2.2.1 硝酸 ( $\rho=1.42 \text{ g/mL}$ )：优级纯。

11.2.2.2 硝酸溶液 (1+99)。

11.2.2.3 各种元素标准储备溶液：选用相应浓度的持证混合标准溶液、单标溶液，并稀释到所需浓度。

11.2.2.4 混合标准工作溶液：取适量的混合标准储备溶液或各单标标准储备溶液，用硝酸溶液逐级稀释至相应的浓度，配制成下列浓度的混合标准工作溶液：钾、钠、钙、镁为  $\rho=100.0 \mu\text{g/mL}$ ；锂、锶为  $\rho=10.0 \mu\text{g/mL}$ ；银、铝、砷、硼、钡、铍、镉、钴、铬、铜、铁、锰、钼、镍、铅、铈、硒、锡、钽、铊、铀、钒、锌为  $\rho=1.0 \mu\text{g/mL}$ ；汞为  $\rho=0.10 \mu\text{g/mL}$ 。

11.2.2.5 质谱调谐液：推荐选用锂、钪、铈、铊、钴为质谱调谐液，混合溶液 Li、Y、Ce、Tl、Co 的浓度为  $10 \text{ ng/mL}$ 。

#### 11.2.2.6 内标溶液

推荐选用锂、钪、铈、铊、钴为内标溶液，混合溶液 Li、Sc、Ge、Y、In、Bi 的浓度为  $10 \mu\text{g/mL}$ ，

使用前用硝酸溶液稀释至 1  $\mu\text{g/mL}$ 。可选择全部或部分元素作为内标溶液，在线添加内标，也可以不添加内标直接进样进行分析，推荐的分析物质量、内标见表 4。

表 4 推荐的分析物质量及对应内标

元素	分析物质量	内标
银	107	In
银	109	In
铝	27	Sc
砷	75	Ge
硼	11	Sc
钡	135	In
铍	9	$^6\text{Li}$
钙	40	Sc
镉	111	In
镉	114	In
钴	59	Sc
铬	52	Sc
铬	53	Sc
铜	63	Sc
铜	65	Sc
铁	56	Sc
铁	57	Sc
钾	39	Sc
锂	7	Sc
镁	24	Sc
锰	55	Sc
钼	98	In
钠	23	Sc
镍	60	Sc
镍	62	Sc
铅	208	Bi
铈	121	In
铈	123	In
硒	77	Ge
锶	88	Y
锡	118	In
锡	120	In
钍	232	Bi
铊	203	Bi
铊	205	Bi
钛	48	Sc
铀	235	Bi
铀	238	Bi

表 4 (续)

元素	分析物质量	内标
钒	51	Sc
锌	66	Ge
铟	68	Ge
汞	202	Bi

### 11.2.3 仪器和设备

11.2.3.1 电感耦合等离子体质谱仪。

11.2.3.2 超纯水制备仪。

### 11.2.4 分析步骤

#### 11.2.4.1 仪器操作

使用调谐液调整仪器各项指标，使仪器灵敏度、氧化物、双电荷分辨率等各项指标达到测定要求。

#### 11.2.4.2 标准系列的制备

吸取混合标准工作溶液，用硝酸溶液配制成铝、锰、铜、锌、钡、钴、硼、铁、钛浓度为 0 ng/mL、5.0 ng/mL、10.0 ng/mL、50.0 ng/mL、100.0 ng/mL、500.0 ng/mL；银、砷、铍、铬、镉、钼、镍、铅、硒、铈、铊、铪、铉、铀、钍、钷浓度为 0 ng/mL、0.5 ng/mL、1.0 ng/mL、10.0 ng/mL、50.0 ng/mL、100.0 ng/mL；钾、钠、钙、镁浓度为 0 μg/mL、0.5 μg/mL、5.0 μg/mL、10.0 μg/mL、50.0 μg/mL、100.0 μg/mL；锂、锶浓度为 0 μg/mL、0.05 μg/mL、0.10 μg/mL、0.50 μg/mL、1.0 μg/mL、5.0 μg/mL；汞浓度为 0 ng/mL、0.10 ng/mL、0.50 ng/mL、1.0 ng/mL、1.5 ng/mL、2.0 ng/mL 的标准系列。

#### 11.2.4.3 测定

开机，当仪器真空度达到要求时，用调谐液调整仪器灵敏度、氧化物、双电荷、分辨率等各项指标，当仪器各项指标达到测定要求，引入在线内标，观测内标灵敏度、脉冲与模拟模式的线性拟合，符合要求后，将标准系列引入仪器。进行相关数据处理，绘制标准曲线、计算回归方程。相同条件下，将试样溶液分别引入仪器进行测定。根据回归方程计算出试样中元素的浓度。

### 11.2.5 分析结果的表述

以试样管中各元素的信号强度 CPS，从校准曲线或回归方程中查得试样管中各元素的含量（mg/L，或μg/L）。

注：由于汞元素易沉积在镍的采样锥或截取锥上，饮用水和水源水中汞元素含量很低，因而引入仪器的汞标准溶液浓度范围应尽量低，满足测定需要即可。若仪器被污染，应引入含金的溶液清洗。汞的标准溶液、标准系列最好单独配制，标准系列现用现配。

### 11.2.6 其他

本方法各元素的定量限分别为：银 0.03 μg/L、铝 0.6 μg/L、砷 0.09 μg/L、硼 0.9 μg/L、钡 0.3 μg/L、铍 0.03 μg/L、钙 6.0 μg/L、镉 0.06 μg/L、钴 0.03 μg/L、铬 0.09 μg/L、铜 0.09 μg/L、铁 0.9 μg/L、钾 3.0 μg/L、锂 0.3 μg/L、镁 0.4 μg/L、锰 0.06 μg/L、钼 0.06 μg/L、钠 7.0 μg/L、镍 0.07 μg/L、铅 0.07 μg/L、铈 0.07 μg/L、硒 0.09 μg/L、锶 0.09 μg/L、锡 0.09 μg/L、钍 0.06 μg/L、铊 0.01 μg/L、钛 0.4 μg/L、铀 0.04 μg/L、钷 0.07 μg/L、铟 0.8 μg/L、汞 0.07 μg/L。

## 12 钾和钠

### 12.1 火焰原子发射光谱法

#### 12.1.1 原理

钾和钠容易电离，在火焰中具有较高的发射强度，且在一定范围内其发射强度与浓度成正比。可分别用 766.5 nm 和 589.0 nm 灵敏共振线进行测定，与标准系列比较定量。

## 12.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为GB/T 6682规定的二级水。

### 12.1.2.1 硝酸溶液(1+1)。

12.1.2.2 钾标准储备溶液[ $\rho(\text{K}^+) = 1.00 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.9067 g 已在 110 °C 烘至恒重的氯化钾（优级纯），溶于少量水中，加入 10 mL 硝酸溶液，再用水稀释至 1 000 mL。

12.1.2.3 钠标准储备溶液[ $\rho(\text{Na}^+) = 10.00 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 25.421 g 在 140 °C 烘至恒重的氯化钠（基准试剂），溶于少量水中，加入 10 mL 硝酸溶液，再用水稀释至 1 000 mL。

12.1.2.4 钾、钠混合标准溶液：吸取适量钾、钠标准储备溶液，用水稀释 10 倍，使其 1.00 mL 含 0.10 mg 钾和 1.00 mg 钠。

## 12.1.3 仪器和设备

12.1.3.1 原子吸收光谱仪。

12.1.3.2 空气压缩机或空气钢瓶气。

12.1.3.3 乙炔钢瓶气。

12.1.3.4 分析天平：感量为 0.1 mg 和 0.01 g。

## 12.1.4 分析步骤

### 12.1.4.1 试样测定

按仪器说明书将发射部分调节至最佳状态：波长：钾 766.5 nm；钠 589.0 nm。火焰：贫燃性，测量高度：2 cm。将水样直接喷入火焰，测定其钾、钠发射强度。

若水样中钾、钠含量较高，可稀释试样；或选择较小的狭缝和较小的增益；或选用次灵敏共振线进行测定。

### 12.1.4.2 校准曲线的绘制

12.1.4.2.1 精确吸取钾、钠混合标准溶液 0 mL、1.0 mL、2.0 mL、5.0 mL、10.0 mL、50.0 mL，用水稀释至 1 L，配制为每升含钾 0 mg、0.1 mg、0.2 mg、0.5 mg、1.0 mg、5.0 mg，含钠 0 mg、1.0 mg、2.0 mg、5.0 mg、10.0 mg、50.0 mg 的标准系列。应根据水样钾、钠含量高低选择适当的标准系列的质量浓度范围。

12.1.4.2.2 按 12.1.4.1 水样分析步骤同时测定其发射强度。

12.1.4.2.3 以质量浓度（mg/L）为横坐标，发射强度为纵坐标绘制校准曲线。

## 12.1.5 分析结果的表述

试样中钾或钠的含量按式（12）计算：

$$\rho(\text{K 或 Na}) = \rho_1 \times D \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$\rho(\text{K 或 Na})$ ——水样中钾或钠的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$\rho_1$ ——以水样测得的发射强度，从校准曲线上查得的水样中钾或钠的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$D$ ——水样稀释倍数。

## 12.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

## 12.1.7 其他

本法测钾、钠的定量限分别为 0.1 mg/L 和 1.0 mg/L。

## 12.2 火焰原子吸收光谱法

### 12.2.1 原理

利用钾、钠基态原子能吸收来自本金属元素空心阴极灯发射的共振线，且其吸收强度与钾、钠原子

的质量浓度成正比。将水样导入火焰原子化器中使钾、钠离子原子化后，分别在其灵敏共振线 766.5 nm 和 589.0 nm 下测定其吸光度，与标准系列比较定量。钾、钠含量高时，可采用其次灵敏共振线 404.5 nm 和 330.2 nm。二者均可用空气-乙炔火焰。

## 12.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

### 12.2.2.1 硝酸溶液（1+1）。

### 12.2.2.2 钾标准储备溶液：同 12.1.2.2。

### 12.2.2.3 钠标准储备溶液：同 12.1.2.3。

### 12.2.2.4 钾、钠混合标准溶液：吸取适量钾、钠标准储备溶液，用水稀释至 1.00 mL，含 0.05 mg 钾和 0.05 mg 钠。

## 12.2.3 仪器和设备

### 12.2.3.1 原子吸收光谱仪：配有钾、钠空心阴极灯。

### 12.2.3.2 空气压缩机或空气钢瓶气。

### 12.2.3.3 乙炔钢瓶气。

注：乙炔易燃。

## 12.2.4 分析步骤

### 12.2.4.1 试样测定

按仪器说明书，将仪器调至测钾、钠最佳状态。将水样直接喷入火焰，测定其吸光度。

试样中钾、钠含量较高时，可转动燃烧器角度，或用次灵敏共振线 404.5 nm 和 330.2 nm 测定其吸光度。

### 12.2.4.2 校准曲线的绘制

#### 12.2.4.2.1 精确吸取钾、钠混合标准溶液或标准储备溶液，用水稀释配成下列含量的标准系列：

钾：0 mg/L、0.05 mg/L、1.00 mg/L、2.00 mg/L、3.00 mg/L（波长 486.5 nm）或 0 mg/L、1.00 mg/L、5.00 mg/L、10.00 mg/L、15.00 mg/L（波长 404.5 nm）。

钠：0 mg/L、0.01 mg/L、0.05 mg/L、0.10 mg/L、0.50 mg/L（波长 589.0 nm）或 0 mg/L、1.00 mg/L、10.00 mg/L、20.00 mg/L、60.00 mg/L（波长 330.2 nm）。

#### 12.2.4.2.2 按 12.2.4.1 水样分析步骤与试样同时测定。

#### 12.2.4.2.3 以质量浓度（mg/L）为横坐标，吸光度为纵坐标绘制校准曲线。

## 12.2.5 分析结果的表述

同 12.1.5。

## 12.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

## 12.2.7 其他

本法测钾和钠的定量限分别为 0.05 mg/L 和 0.01 mg/L。

## 12.3 离子色谱法

### 12.3.1 原理

由于锂、钾、钠三种阳离子的结构不同，它们对阳离子交换树脂的亲合力也不相同，分配系数存在着差异，所以在交换柱中被淋洗的速度也不相同。因此，当水样注入离子色谱仪后，在淋洗液的携带下，流过装有阳离子交换树脂的分离柱时，它们按  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  的顺序被分离开，然后流入抑制器，将强电解质的淋洗液转变成弱电解质，降低了背景电导。最后流经电导池，依次测定各离子的峰高(或峰面积)。用同样条件下绘制的校准曲线，即可求出水样中  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、和  $\text{K}^+$  的含量。

### 12.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的一级水。

12.3.2.1 淋洗液：吸取 1.3 mL 甲基磺酸，用水稀释至 1 L，摇匀。

12.3.2.2 锂标准储备溶液[ $\rho(\text{Li}^+)=1.00 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.0646 g 碳酸锂( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ )，加少许水湿润，然后逐滴加入盐酸溶液，使碳酸锂完全溶解后，再过量 2 滴，移入 200 mL 容量瓶中，加水定容至刻度，混匀。

12.3.2.3 锂标准中间溶液[ $\rho(\text{Li}^+)=0.10 \text{ mg/mL}$ ]：吸取 10.00 mL 锂标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，加水定容至刻度，混匀。

12.3.2.4 锂标准工作溶液[ $\rho(\text{Li}^+)=0.01 \text{ mg/mL}$ ]：吸取 10.00 mL 锂标准中间溶液于 100 mL 容量瓶中，加水定容至刻度，混匀。

12.3.2.5 钠标准储备溶液[ $\rho(\text{Na}^+)=1.00 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 0.5084 g 在 500 °C 灼烧 1 h，在干燥器中冷却 0.5 h 的氯化钠( $\text{NaCl}$ )，溶于少量水中，移入 200 mL 容量瓶中，加水定容至刻度，混匀。

12.3.2.6 钠标准工作溶液[ $\rho(\text{Na}^+)=0.50 \text{ mg/mL}$ ]：吸取 25.00 mL 钠标准储备溶液于 50 mL 容量瓶中，加水定容至刻度，混匀。

12.3.2.7 钾标准储备溶液[ $\rho(\text{K}^+)=1.00 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 0.4457 g 在 500 °C 灼烧 1 h，在干燥器中冷却 0.5 h 的硫酸钾( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )，溶于少量水中，移入 200 mL 容量瓶中，加水稀释至刻度，混匀。

12.3.2.8 钾标准工作溶液[ $\rho(\text{K}^+)=0.10 \text{ mg/mL}$ ]：吸取 10.00 mL 钾标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，加水稀释至刻度，混匀。

### 12.3.3 仪器和设备

12.3.3.1 离子色谱仪。

12.3.3.2 阳离子保护柱。

12.3.3.3 阳离子分离柱。

12.3.3.4 阳离子抑制器。

12.3.3.5 分析天平：感量为 0.1 mg 和 0.01 g。

### 12.3.4 分析步骤

12.3.4.1 水样的测定：按仪器说明书的要求，将仪器调至最佳状态。待基线稳定后，用注射器注入 1 mL~2 mL 待测试样。根据记录的各离子的峰高(或峰面积)，从校准曲线上即可求得水样中锂、钠、钾的含量。

12.3.4.2 校准曲线的绘制：准确吸取锂标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.20 mL、0.40 mL、1.00 mL 和 2.00 mL；钠标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.40 mL、0.80 mL、2.00 mL 和 4.00 mL，钾标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.40 mL、0.80 mL、2.00 mL 和 4.00 mL 于一系列 200 mL 容量瓶中，加水定容至刻度，混匀，此标准系列的质量浓度(mg/L)见表 5。

表 5 标准工作溶液系列浓度

元素	标准工作溶液系列浓度 (mg/L)					
	$\text{Li}^+$	0	0.005	0.01	0.02	0.05
$\text{Na}^+$	0	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00
$\text{K}^+$	0	0.10	0.20	0.40	1.00	2.00

按 12.3.4.1 水样的分析步骤进行测定，记录各离子的峰高(或峰面积)，分别以它们的质量浓度为横坐标，峰高(或峰面积)为纵坐标绘制校准曲线。

### 12.3.5 分析结果的表述

试样中  $\text{K}^+$  ( $\text{Li}^+$ 或  $\text{Na}^+$ ) 的含量按式 (13) 计算：

$$\rho(\text{B}^+) = \rho_1 \times D \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$\rho(B^+)$ ——水样中  $K^+$  ( $Li^+$ 或 $Na^+$ ) 的质量浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);

$\rho_I$ ——从  $K^+$  ( $Li^+$ 或 $Na^+$ ) 的校准曲线上分别查得的试样中各离子的质量浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);

$D$ ——水样稀释倍数。

### 12.3.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 12.3.7 其他

本方法的定量限为: 锂 0.005 mg/L、钾 0.05 mg/L、钠 0.05 mg/L。

## 13 钙

### 13.1 乙二胺四乙酸二钠滴定法

#### 13.1.1 原理

在碱性溶液中 (pH 为 12) 钙离子与钙试剂生成红色的络合物, 其不稳定常数大于钙与乙二胺四乙酸二钠络合物的不稳定常数, 在此溶液中滴加乙二胺四乙酸二钠溶液, 就会将络合的钙试剂取代出来, 滴定到终点时, 呈现出游离指示剂的纯蓝色。

水样碱度大时, 应加入盐酸, 经煮沸后再进行测定, 否则因加入氢氧化钠溶液而生成碳酸钙的沉淀, 使结果偏低。

#### 13.1.2 试剂和材料

除非另有规定, 本方法中所用试剂均为分析纯, 水为 GB/T 6682 规定的三级水。

##### 13.1.2.1 刚果红试纸。

##### 13.1.2.2 盐酸溶液(1+1)。

##### 13.1.2.3 氢氧化钠溶液 [ $c(\text{NaOH})=2 \text{ mol/L}$ ]。

13.1.2.4 钙试剂: 称取 50 mg 钙试剂 ( $\text{C}_{20}\text{H}_{13}\text{N}_2\text{NaO}_5\text{Na}$ ), 加入 25 g 氯化钾, 在研钵中充分研磨成细粉后, 贮存于密封的暗色瓶中。

13.1.2.5 乙二胺四乙酸二钠标准溶液 [ $c(\text{EDTA-2Na})=0.01 \text{ mol/L}$ ]: 准确称取 3.72 g 乙二胺四乙酸二钠 (EDTA-2Na), 溶于 1 000 mL 蒸馏水中, 按 8.2.6.1~8.2.6.2 标定其准确浓度。

#### 13.1.3 仪器和设备

##### 13.1.3.1 滴定管: 25 mL。

##### 13.1.3.2 移液管: 50 mL, 25 mL 和 5 mL。

##### 13.1.3.3 锥形瓶: 150 mL。

##### 13.1.3.4 分析天平: 感量为 0.1 g 和 0.001 g。

#### 13.1.4 分析步骤

13.1.4.1 吸取 50.0 mL 水样, 注入 150 mL 锥形瓶中, 放入刚果红试纸一小块, 加入盐酸溶液酸化, 直到试纸变成蓝紫色。

13.1.4.2 将溶液煮沸 2 min~3 min, 冷却后, 加 2 mL 氢氧化钠溶液。

13.1.4.3 加入 20 mg~40 mg 钙试剂, 以 EDTA-2Na 标准溶液滴定至红色变至纯蓝色为止, 同时做空白试验, 记下用量 (溶液保存以测定镁离子)。

#### 13.1.5 分析结果的表述

试样中钙含量按式 (14) 计算:

$$\rho(\text{Ca}) = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 40.08}{V} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$\rho(\text{Ca})$ ——水样中钙的质量浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);

$V_1$ ——滴定中所消耗 EDTA-2Na 溶液体积，单位为毫升 (mL)；

$V_2$ ——空白所消耗 EDTA-2Na 溶液体积，单位为毫升 (mL)；

$c$ ——EDTA-2Na 溶液的浓度，单位为摩尔每升 (mol/L)；

40.08——与 1.00 mL EDTA-2Na 标准溶液 [ $c(\text{EDTA-2Na})=1.000 \text{ mol/L}$ ] 相当的以克表示的钙的质量；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1000——换算系数。

### 13.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

## 13.2 火焰原子吸收光谱法

### 13.2.1 原理

钙的基态原子能吸收钙空心阴极灯发射的共振线，且其吸收强度与浓度成正比。将水样导入火焰使钙原子化后，在灵敏共振线 422.7 nm 下测定吸光度，与标准系列比较定量。使用氧化性火焰。

### 13.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

#### 13.2.2.1 盐酸溶液(1+2)。

13.2.2.2 氯化镧溶液：准确称取 80.2 g 氯化镧 ( $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，优级纯)，溶于水中，并用水稀释至 1 000 mL，此溶液含镧 30 mg/mL。

13.2.2.3 钙标准储备溶液 [ $\rho(\text{Ca})=0.50 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.2485 g 已在 105℃ 烘干的碳酸钙（优级纯）于 100 mL 烧杯中，加入 20 mL 水，然后慢慢加入盐酸溶液，使其完全溶解后，再加入 5 mL 盐酸溶液，煮沸赶走二氧化碳，转移至 1 000 mL 容量瓶中，用水定容，摇匀，备用。

13.2.2.4 钙标准中间溶液 [ $\rho(\text{Ca})=0.05 \text{ mg/mL}$ ]：吸取 10.00 mL 钙标准储备溶液，于 100 mL 容量瓶中，加水定容。

### 13.2.3 仪器和设备

13.2.3.1 原子吸收光谱仪：配有钙空心阴极灯。

13.2.3.2 空气压缩机或空气钢瓶气。

13.2.3.3 乙炔钢瓶气。

注：乙炔易燃。

13.2.3.4 具塞试管：10 mL。

13.2.3.5 分析天平：感量为 0.1 mg 和 0.01 g。

### 13.2.4 分析步骤

#### 13.2.4.1 试样测定

吸取 10.0 mL 水样于 10 mL 干燥具塞试管中，加 0.60 mL 氯化镧溶液，摇匀。按仪器说明书，将仪器调至测钙最佳状态。将水样直接导入火焰，测定其吸光度。钙含量高时，旋转燃烧器头或选用次灵敏线进行测定。

#### 13.2.4.2 校准曲线的绘制

##### 13.2.4.2.1 低含量钙校准曲线

精确吸取钙标准工作溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、4.00 mL、6.00 mL、8.00 mL、10.00 mL 和 20.00 mL 于一系列 50 mL 容量瓶中，各加 3.0 mL 氯化镧溶液，加水定容，摇匀。即得每升含钙 0 mg、0.50 mg、1.0 mg、2.0 mg、4.0 mg、6.0 mg、8.0 mg、10.0 mg 和 20.0 mg 的标准系列溶液。

按试样测定步骤与试样同时测定。

##### 13.2.4.2.2 高含量钙校准曲线

精确吸取钙标准储备溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、4.00 mL、6.00 mL、8.00 mL、10.00 mL、

12.00 mL 和 15.00 mL 于一系列 50 mL 容量瓶中，各加 3.0 mL 氯化镧溶液，加水至刻度，摇匀。即得每升含钙 0 mg、5.0 mg、10.0 mg、20.0 mg、40.0 mg、60.0 mg、80.0 mg、100.0 mg、120.0 mg 和 150.0 mg 的标准系列溶液。

按试样测定步骤旋转燃烧头或选用次灵敏吸收线与试样同时测定。

13.2.4.2.3 以质量浓度(mg/L)为横坐标，吸光度为纵坐标绘制校准曲线。

### 13.2.5 分析结果的表述

试样中钙含量按式(15)计算：

$$\rho(\text{Ca}) = \rho_1 \times D \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$\rho(\text{Ca})$ ——水样中钙的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1$ ——以水样吸光度从校准曲线上查得的钙质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$D$ ——水样稀释倍数。

### 13.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 13.2.7 其他

本法的定量限为 0.05 mg/L。

## 14 镁

### 14.1 乙二胺四乙酸二钠滴定法

#### 14.1.1 原理

取用乙二胺四乙酸二钠滴定法滴定钙后的溶液，破坏钙试剂指示剂后，当 pH=9~10 时，在有铬黑 T 指示剂存在下，以乙二胺四乙酸二钠(简称 EDTA-2Na)溶液滴定镁离子，当到达等当点时，溶液呈现天蓝色。

#### 14.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

14.1.2.1 缓冲溶液(pH=10)：将 67.5 g 氯化铵(NH<sub>4</sub>Cl)溶解于 300 mL 蒸馏水中，加 570 mL 氢氧化铵( $\rho_{20}=0.88$  g/mL)，用水稀释至 1 000 mL。

14.1.2.2 铬黑 T 指示剂(5 g/L)：准确称取 0.5 g 铬黑 T(C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>N<sub>3</sub>NaO<sub>7</sub>S)，溶于 100 mL 三乙醇胺(C<sub>6</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>3</sub>)中。

14.1.2.3 乙二胺四乙酸二钠标准溶液[c(C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>Na<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O)=0.01 mol/L]：称取 3.72 g 乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na)，溶解于 1000 mL 蒸馏水中，按 8.2.6.1~8.2.6.2 标定其准确浓度。

#### 14.1.3 仪器和设备

14.1.3.1 滴定管：25 mL。

14.1.3.2 移液管：50 mL，25 mL 和 5 mL。

14.1.3.3 锥形瓶：150 mL。

14.1.3.4 分析天平：感量为 0.001 g 和 0.01 g。

#### 14.1.4 分析步骤

取测定钙后的溶液，以盐酸溶液(1+1)酸化至刚果红试纸变为蓝紫色，放置 5 min~10 min，此时溶液应无色，若颜色不褪时，可加热使之褪色。

滴加氨缓冲溶液到刚果红试纸变红，再过量 1 mL~2 mL，加 5 滴铬黑 T 指示剂，用 EDTA-2Na 标准溶液滴定，直到溶液颜色呈不变的天蓝色。记录用量。

#### 14.1.5 分析结果的表述

试样中镁含量按式（16）计算：

$$\rho(\text{Mg}) = \frac{V_1 \times c \times 24.305}{V} \times 1000 \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中：

- $\rho(\text{Mg})$ ——水样中镁的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；  
 $V_1$ ——滴定消耗 EDTA-2Na 标准溶液的体积，单位为毫升（mL）；  
 $c$ ——EDTA-2Na 标准溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；  
 24.305——与 1.00 mL EDTA-2Na 标准溶液 [ $c(\text{EDTA-2Na})=1.000 \text{ mol/L}$ ] 相当的以克表示的镁的质量；  
 $V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）；  
 1000——换算系数。

#### 14.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 14.2 火焰原子吸收光谱法

#### 14.2.1 原理

利用镁的基态原子能吸收镁空心阴极灯发射的共振线，且其吸收强度与浓度成正比。将水样导入火焰使镁离子原子化后，在灵敏共振线 285.2 nm 下测定吸光度，与标准系列比较定量。使用氧化型火焰。

#### 14.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

##### 14.2.2.1 盐酸溶液(1+1)。

14.2.2.2 氯化镧溶液：准确称取 80.2 g 氯化镧 ( $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，优级纯)，溶于水后，用水稀释至 1 000 mL。此溶液 1.00 mL 含 30 mg 镧。

14.2.2.3 镁标准储备溶液 [ $\rho(\text{Mg})=0.50 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.9590 g 氯化镁（优级纯），溶于水中，用水定容 1 000 mL，摇匀。

14.2.2.4 镁标准工作溶液 [ $\rho(\text{Mg})=0.05 \text{ mg/mL}$ ]：吸取 10.00 mL 镁标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，加水定容，摇匀。

#### 14.2.3 仪器和设备

14.2.3.1 原子吸收光谱仪：配有镁空心阴极灯。

14.2.3.2 空气压缩机或空气钢瓶气。

14.2.3.3 乙炔钢瓶气。

注：乙炔易燃。

14.2.3.4 具塞试管：10 mL。

#### 14.2.4 分析步骤

##### 14.2.4.1 低含量镁校准曲线的绘制

精确吸取镁标准工作溶液 0 mL、0.30 mL、0.60 mL、1.00 mL、1.30 mL、2.00 mL 于一系列 50 mL 容量瓶中，各加 3.0 mL 氯化镧溶液及 1 滴盐酸溶液，加水定容，摇匀，即得每升含 0 mg、0.30 mg、0.60 mg、1.00 mg、1.30 mg 和 2.00 mg 镁的标准系列溶液。

按仪器说明将仪器工作条件调整至测镁最佳状态，选择灵敏吸收线 285.2 nm。依次将镁标准系列溶液导入火焰，测定其吸光度。

以质量浓度(mg/L)为横坐标，吸光度为纵坐标绘制校准曲线。

##### 14.2.4.2 一般含量镁校准曲线的绘制

精确吸取镁标准工作溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、3.00 mL、5.00 mL、7.00 mL、10.00 mL、15.00 mL、20.00 mL、25.00 mL 和 30.00 mL 于一系列 50 mL 容量瓶中，各加 3.0 mL 氯化镧溶液及 1 滴盐酸溶

液，加水定容，摇匀，即得每升含 0 mg、0.50 mg、1.0 mg、3.0 mg、5.0 mg、7.0 mg、10.0 mg、15.0 mg、20.0 mg、25.0 mg 和 30.0 mg 镁的标准系列溶液。

按仪器说明书将仪器工作条件调至测镁最佳状态，旋转燃烧器头或选用次灵敏吸收线。按 14.2.4.1 进行测定并绘制校准曲线。

#### 14.2.4.3 试样测定

吸取水样 10.0 mL 于 10 mL 干燥具塞试管中，加 0.60 mL 氯化镧溶液，摇匀。按 14.2.4.2 测定其吸光度。

#### 14.2.5 分析结果的表述

试样中镁含量按式 (17) 计算：

$$\rho(\text{Mg}) = \rho_1 \times D \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中：

$\rho(\text{Mg})$ ——水样中镁的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1$ ——以水样吸光度从校准曲线上查得的镁的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$D$ ——水样稀释倍数。

#### 14.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 14.2.7 其他

本方法测镁的定量限为 0.02 mg/L。

### 15 铁

#### 15.1 火焰原子吸收光谱法

##### 15.1.1 直接法

同 17.1.1。

#### 15.2 二氮杂菲分光光度法

##### 15.2.1 原理

在 pH=3~pH9 条件下，低铁离子与二氮杂菲生成稳定的橙色络合物，在波长 510 nm 处有最大光吸收。二氮杂菲过量时，控制溶液 pH=2.9~3.5，可使显色加快。

水样先经加酸煮沸溶解难溶的铁化合物，同时消除氰化物，亚硝酸盐，多磷酸盐的干扰。加入盐酸羟胺将高铁还原为低铁，还可消除氧化剂的干扰。水样过滤后，不加盐酸羟胺，可测定溶解性低铁含量。水样过滤后，加盐酸溶液和盐酸羟胺，测定结果为溶解性总铁含量。水样先经加酸煮沸，使难溶性铁的化合物溶解，经盐酸羟胺处理后，测定结果为总铁含量。

##### 15.2.2 试剂

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

###### 15.2.2.1 盐酸溶液(1+1)。

15.2.2.2 乙酸铵缓冲溶液(pH=4.2)：称取 250 g 乙酸铵( $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ )，溶于 150 mL 水中，再加入 700 mL 冰乙酸，混匀，备用。

15.2.2.3 盐酸羟胺溶液(100g/L)：称取 10 g 盐酸羟胺( $\text{NH}_2\text{OH HCl}$ )，溶于水中，并稀释至 100 mL。

15.2.2.4 二氮杂菲溶液(1.0g/L)：准确称取 0.1 g 二氮杂菲( $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，又名 1, 10-二氮杂菲，邻二氮菲或邻菲绕啉，有水合物及盐酸盐两种，均可用。)溶解于加有 2 滴盐酸( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ )的水中，并稀释至 100 mL。此溶液 1 mL 可测定 100  $\mu\text{g}$  以下的低铁。

15.2.2.5 铁标准储备溶液[ $\rho(\text{Fe})=100 \mu\text{g/mL}$ ]：准确称取 0.7022 g 硫酸亚铁铵[ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ]，溶于少量水，加 3 mL 盐酸( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ )，用水定容成 1 000 mL。

15.2.2.6 铁标准工作溶液 [ $\rho(\text{Fe})=10.0 \mu\text{g/mL}$ ]: 吸取 10.00 mL 铁标准储备溶液, 用水定容至 100 mL。此溶液使用时现配。

### 15.2.3 仪器

15.2.3.1 锥形瓶: 150 mL。

15.2.3.2 具塞比色管: 50 mL。

15.2.3.3 分光光度计。

15.2.3.4 分析天平: 感量为 0.1 mg 和 0.01 g。

### 15.2.4 分析步骤

吸取 50.0 mL 混匀的水样(含铁量超过 50  $\mu\text{g}$  时, 可取适量水样加水稀释至 50 mL)于 150 mL 锥形瓶中。另取 150 mL 锥形瓶 8 个, 分别加入铁标准工作溶液 0 mL、0.25 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL 和 5.00 mL, 加水至 50 mL。

向水样及标准系列锥形瓶中各加 4 mL 盐酸溶液和 1 mL 盐酸羟胺溶液, 小火煮沸至约剩 30 mL, 冷却至室温后移入 50 mL 比色管中。

向水样及标准系列比色管中各加 2 mL 二氮杂菲溶液, 混匀后再加 10.0 mL 乙酸铵缓冲溶液, 各加水至 50 mL, 混匀, 放置 10 min~15min。于波长 510 nm 处, 用 2 cm 比色皿, 以水为参比, 测量吸光度。绘制校准曲线, 从曲线上查出试样管中铁的质量。

注 1: 所有玻璃器皿每次使用前均需用稀硝酸浸泡才能得到理想的结果。

注 2: 总铁包括水体中悬浮性铁和微生物体中的铁, 取样时应剧烈振摇均匀, 并立即取样, 以防止结果出现很大的差别。

注 3: 乙酸铵试剂可能含有微量铁, 故缓冲溶液的加入量要准确一致。

注 4: 若水样较清洁, 含难溶亚铁盐少时, 可将所加各种试剂用量减半。但标准系列与试样必须一致。

### 15.2.5 分析结果的表述

试样中铁含量按式 (18) 计算:

$$\rho(\text{Fe}) = \frac{m \times 1000}{v \times 1000} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

$\rho(\text{Fe})$ ——水样中总铁的质量浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);

$m$ ——从校准曲线上查得试样管中铁的质量, 单位为微克 ( $\mu\text{g}$ );

$V$ ——水样体积, 单位为毫升 (mL);

1 000——单位换算系数。

### 15.2.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 15.2.7 其他

本方法定量限为 0.05 mg/L(以 Fe 计)。

## 16 锰

### 16.1 火焰原子吸收光谱法

#### 16.1.1 直接法

同 17.1.1。

#### 16.1.2 萃取法

同 17.1.2。

#### 16.1.3 共沉淀法

同 17.1.3。

## 16.2 过硫酸铵分光光度法

### 16.2.1 原理

在硝酸银存在下，锰被过硫酸铵氧化成紫红色的高锰酸盐，其颜色的深度与锰的含量成正比。如果溶液中有过量的过硫酸铵时，生成的紫红色至少能稳定 24 h。

氯离子因能沉淀银离子而抑制催化作用，可由试剂中所含的汞离子予以消除。加入磷酸可络合铁等干扰元素。如水样中有机物较多，可多加过硫酸铵，并延长加热时间。

### 16.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

以下配制试剂及稀释溶液所用的水不得含还原性物质，否则可加过硫酸铵处理（例如取 500 mL 去离子水，加 0.5 g 过硫酸铵煮沸 2 min 放冷后使用）。

#### 16.2.2.1 过硫酸铵[(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>]：干燥固体。

注：过硫酸铵在干燥时较为稳定，水溶液或受潮的固体容易分解放出过氧化氢而失效。本法常因此试剂分解而失败，应注意。

16.2.2.2 硝酸银-硫酸汞溶液：称取 75g 硫酸汞(HgSO<sub>4</sub>)溶于 600 mL 硝酸溶液(2+1)中，再加 200 mL 磷酸(ρ<sub>20</sub> = 1.19 g/mL)及 35 mg 硝酸银 (AgNO<sub>3</sub>)，放冷后加水至 1 000 mL，储于棕色瓶中。

16.2.2.3 盐酸羟胺溶液(100 g/L)：称取 10 g 盐酸羟胺(NH<sub>2</sub>OH HCl)加水溶解，并稀释至 100 mL。

16.2.2.4 锰标准储备溶液[ρ(Mn) = 1mg/mL]：准确称取 1.2912 g 氧化锰(MnO，优级纯)或准确称取 1.000 g 金属锰[ω(Mn) > 99.8%]，加硝酸溶液(1+1)溶解后，用水定容至 1 000 mL。

16.2.2.5 锰标准工作溶液[ρ(Mn) = 10 μg/mL]：吸取 5.00 mL 锰标准储备溶液，用水定容至 500 mL。

### 16.2.3 仪器

16.2.3.1 锥形瓶：150 mL。

16.2.3.2 具塞比色管：50 mL。

16.2.3.3 分光光度计。

16.2.3.4 分析天平：感量为 0.1 mg 和 0.01 g。

### 16.2.4 分析步骤

吸取 50.0 mL 水样于 150 mL 锥形瓶中。另取九个 150 mL 锥形瓶，分别加入锰标准工作溶液 0 mL、0.25 mL、0.50 mL、1.00 mL、3.00 mL、5.00 mL、10.0 mL、15.0 mL 和 20.0 mL，加水至 50 mL。

向水样及标准系列瓶中各加 2.5 mL 硝酸银-硫酸汞溶液，煮沸至约剩 45 mL 时，取下稍冷。如有浑浊，可用滤纸过滤。

将 1 g 过硫酸铵分次加入锥形瓶中，慢慢加热至沸。若水中有有机物较多，取下稍冷后再分次加入 1 g 过硫酸铵，再加热至沸，使显色后的溶液中保持有剩余的过硫酸铵。取下，放置 1 min 后，用水冷却。

将水样及标准系列瓶中的溶液分别移入 50 mL 比色管中，加水至刻度，混匀。于波长 530 nm 处，用 5 cm 比色皿，以水为参比，测量试样和标准系列的吸光度。

如原水样有颜色时，可向有色的试样溶液中滴加盐酸羟胺溶液至生成的高锰酸盐完全褪色为止。再次测量此水样的吸光度。

绘制校准曲线，从曲线查出试样管中的锰质量。有颜色的水样，应由测得的试样溶液的吸光度减去测得的试样空白吸光度，再从校准曲线查出锰的质量。

### 16.2.5 分析结果的表述

试样中锰含量按式 (19) 计算。

$$\rho(\text{Mn}) = \frac{m \times 1000}{v \times 1000} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

$\rho(\text{Mn})$ ——水样中锰的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$m$ ——从校准曲线上查得试样管中锰的质量，单位为微克（ $\mu\text{g}$ ）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）。

#### 16.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 16.2.7 其他

本方法定量限为 0.05 mg/L。

### 16.3 甲醛脲分光光度法

#### 16.3.1 原理

在碱性溶液中，甲醛脲与锰形成棕红色的化合物，在波长 450nm 处测量吸光度。

#### 16.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

16.3.2.1 硝酸( $\rho_{20}=1.42\text{ g/mL}$ )。

16.3.2.2 过硫酸钾( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ )。

16.3.2.3 亚硫酸钠( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )。

16.3.2.4 硫酸亚铁铵溶液：称取 70 mg 硫酸亚铁铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ ，加入 10 mL 硫酸溶液(1+9)，用水稀释至 1 000 mL。

16.3.2.5 氢氧化钠溶液(160 g/L)：称取 160 g 氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )，溶于水，并稀释至 1 000 mL。

16.3.2.6 乙二胺四乙酸二钠溶液(372 g/L)：称取 37.2 g 乙二胺四乙酸二钠 ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )，加入约 50 mL 氢氧化钠溶液，搅拌至完全溶解，用水稀释至 100 mL。

16.3.2.7 甲醛脲溶液：称取 10 g 盐酸羟胺( $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ )，溶于约 50 mL 水中，加 5 mL 甲醛溶液( $\rho_{20}=1.08\text{ g/mL}$ )，用水稀释至 100 mL。将试剂保存在阴凉处，至少可保存一个月。

16.3.2.8 氨水溶液(35+100)：量取 70 mL 氨水( $\rho_{20}=0.88\text{ g/mL}$ )，用水稀释至 200 mL。

16.3.2.9 盐酸羟胺溶液(417 g/L)：称取 41.7 g 盐酸羟胺( $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ )，溶于水并稀释至 100 mL。

16.3.2.10 氨性盐酸羟胺溶液：将氨水溶液和盐酸羟胺溶液等体积混合即成。

16.3.2.11 锰标准工作溶液 $[\rho(\text{Mn})=10\text{ }\mu\text{g/mL}]$ ：同 16.2.2.5。

16.3.2.12 硝酸溶液 $[c(\text{HNO}_3)\leq 0.1\text{ mol/L}]$ 。

#### 16.3.3 仪器

16.3.3.1 锥形瓶：100 mL。

16.3.3.2 具塞比色管：50 mL。

16.3.3.3 分光光度计。

16.3.3.4 分析天平：感量为 0.1 mg 和 0.01 g。

#### 16.3.4 分析步骤

##### 16.3.4.1 水样的预处理

对含有悬浮锰及有机锰的水样，需进行预处理。处理步骤为：取一定量的水样于锥形瓶中，按每 50 mL 水样加 0.5 mL 硝酸，0.25 g 过硫酸钾，放入玻璃珠数粒，在电炉上煮沸 30 min，取下稍冷，用快速定性滤纸过滤，用硝酸溶液洗涤滤纸数次。滤液中加入约 0.5 g 亚硫酸钠，用水定容至一定体积，作为测试溶液。

若是清洁水样，可不经预处理直接测定。

##### 16.3.4.2 测定

吸取 50.0mL 水样或测试溶液于比色管中。另取 50mL 比色管 8 支，分别用加入锰标准工作溶液 0 mL、

0.10 mL、0.25 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL 和 4.00 mL，加水至刻度。

向水样及标准系列管中各加 1.0 mL 硫酸亚铁铵溶液，0.5 mL 乙二胺四乙酸钠溶液，混匀后，加入 0.5 mL 甲醛肟溶液，并立即加 1.5 mL 氢氧化钠溶液，混匀后打开管塞静置 10 min。再加入 3 mL 氨性盐酸羟胺溶液，至少放置 1 h(室温低于 15 °C 时，放入温水浴中)，在波长 450 nm 处，用 5 cm 比色皿以水为参比，测定吸光度。绘制校准曲线，并查出水样管中锰的质量。

### 16.3.5 分析结果的表述

试样中锰含量按式(20)计算：

$$\rho(\text{Mn}) = \frac{m \times 1000}{v \times 1000} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$\rho(\text{Mn})$ ——水样中锰的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得试样管中锰的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

### 16.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 16.3.7 其他

本方法定量限为 0.02 mg/L。

## 17 铜

### 17.1 火焰原子吸收光谱法

#### 17.1.1 直接法

##### 17.1.1.1 原理

水样中金属离子被原子化后，吸收来自同种金属元素空心阴极灯发出的共振线(铜，324.7 nm；铅，283.3 nm；铁，248.3 nm；锰，279.5 nm；锌，213.9 nm；镉，228.8 nm)，其吸收强度与试样中该元素的含量成正比。在其它条件不变的情况下，根据测量被吸收的谱线强度，与标准系列比较定量。

##### 17.1.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

17.1.1.2.1 铁标准储备溶液[ $\rho(\text{Fe}) = 1 \text{ mg/mL}$ ]：称取 1.000 g 纯铁粉[ $\omega(\text{Fe}) > 99.9\%$ ]或 1.4300 g 氧化铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，优级纯)，加入 10 mL 硝酸溶液(1+1)，慢慢加热并滴加盐酸( $\rho_{20} = 1.19 \text{ g/mL}$ )助溶，至完全溶解后加水定容至 1000 mL。

17.1.1.2.2 铜标准储备溶液[ $\rho(\text{Cu}) = 1 \text{ mg/mL}$ ]：称取 1.000 g 纯铜粉[ $\omega(\text{Cu}) > 99.9\%$ ]，溶于 15 mL 硝酸溶液(1+1)中，用水定容至 1000 mL。

17.1.1.2.3 锌标准储备溶液[ $\rho(\text{Zn}) = 1 \text{ mg/mL}$ ]：称取 1.000 g 纯锌[ $\omega(\text{Zn}) > 99.9\%$ ]，溶于 20 mL 硝酸溶液(1+1)中，并用水定容至 1000 mL。

17.1.1.2.4 镉标准储备溶液[ $\rho(\text{Cd}) = 1 \text{ mg/mL}$ ]：称取 1.000 g 纯镉粉，溶于 5 mL 硝酸溶液(1+1)中，并用水定容至 1000 mL。

17.1.1.2.5 铅标准储备溶液[ $\rho(\text{Pb}) = 1 \text{ mg/mL}$ ]：称取 1.5985 g 干燥的硝酸铅[ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ]，溶于约 200 mL 水中，加入 1.5 mL 硝酸( $\rho_{20} = 1.42 \text{ g/mL}$ )，用水定容至 1000 mL。

17.1.1.2.6 硝酸( $\rho_{20} = 1.42 \text{ g/mL}$ )，优级纯。

17.1.1.2.7 盐酸( $\rho_{20} = 1.19 \text{ g/mL}$ )，优级纯。

##### 17.1.1.3 仪器和设备

本方法中所有玻璃器皿，使用前均须先用硝酸溶液(1+1)浸泡，并直接用水清洗。特别是测定锌所用的器

皿，更应严格防止与含锌的水(自来水)接触。

17.1.1.3.1 原子吸收光谱仪：配有铜、铁、锰、锌、镉、铅空心阴极灯。

17.1.1.3.2 电热板。

17.1.1.3.3 抽气瓶和玻璃砂芯滤器。

17.1.1.3.4 分析天平：感量为 0.1 mg 和 0.01 g。

#### 17.1.1.4 分析步骤

##### 17.1.1.4.1 水样的预处理

澄清的水样可直接进行测定；悬浮物较多的水样，分析前需酸化并消化有机物。若需测定溶解的金属，则应在采样时将水样通过 0.45 μm 滤膜过滤，然后按每升水样加 1.5 mL 硝酸酸化使 pH 小于 2。

水样中的有机物一般不干扰测定，为使金属离子能全部进入水溶液和促使颗粒物溶解有利于萃取和原子化，可采用盐酸-硝酸消化法。于每升酸化水样中加入 5 mL 硝酸。混匀后取定量水样，按每 100 mL 水样加入 5 mL 盐酸。在电热板上加热 15 min。冷至室温后，用玻璃砂芯漏斗过滤，最后用水稀释至一定体积。

##### 17.1.1.4.2 水样测定

将各种金属标准储备溶液用每升含 1.5 mL 硝酸的水稀释，并配制成下列浓度(mg/L)的标准系列：铜，0.20 mg/L~5.0 mg/L；铁，0.3 mg/L~5.0 mg/L；锰，0.10 mg/L~3.0 mg/L；锌，0.05 mg/L~1.0 mg/L；镉，0.05 mg/L~2.0 mg/L；铅，1.0 mg/L~20 mg/L。

将标准系列溶液和试样溶液依次喷入火焰，测量吸光度。绘制校准曲线，并查出各待测金属元素的质量浓度。

注：所列测量范围受不同型号仪器的灵敏度及操作条件的影响而变化时，可酌情改变上述测量范围。

##### 17.1.1.5 分析结果的表述

从校准曲线直接查出水样中待测金属的质量浓度(mg/L)。

##### 17.1.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 17.1.2 萃取法

##### 17.1.2.1 原理

于微酸性水样中加入吡咯烷二硫代氨基甲酸铵，和金属离子形成络合物，用甲基异丁基甲酮萃取，萃取液喷雾，测定各自波长下的吸光度，求出待测金属离子的浓度。

##### 17.1.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

17.1.2.2.1 各种金属离子的标准储备溶液：同 17.1.1.2.1~17.1.1.2.5。

17.1.2.2.2 各种金属离子的标准工作溶液：用每升含 1.5 mL 硝酸的水将各种金属离子储备溶液稀释成 1.00 mL 含 10 μg 铁、锰和铅，1.00 mL 含 3.0 μg 铜及 1.00 mL 含 1.0 μg 锌、镉的标准工作溶液。

17.1.2.2.3 甲基异丁基甲酮[(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CHCH<sub>2</sub>COCH<sub>3</sub>]，简称 MIBK]

注：对品级低的甲基异丁基甲酮，需用 5 倍体积的盐酸溶液(1+99)振摇，洗除所含杂质，弃去盐酸相，再用水洗去过量的酸。

17.1.2.2.4 酒石酸溶液(150 g/L)：称取 150 g 酒石酸(C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>6</sub>)溶于水中，稀释至 1 000 mL。酒石酸中如含有金属杂质时，在溶液中加入 10 mL APDC 溶液，用 MIBK 萃取提纯。

17.1.2.2.5 硝酸溶液[c(HNO<sub>3</sub>)=1 mol/L]：吸取 7.1 mL 硝酸(ρ<sub>20</sub>=1.42 g/mL)加到水中，稀释至 100 mL。

17.1.2.2.6 氢氧化钠溶液(40 g/L)：称取 4 g 氢氧化钠(NaOH)溶于水中，并稀释至 100 mL。

17.1.2.2.7 溴酚蓝指示剂(0.5 g/L)：称取 0.05 g 溴酚蓝(C<sub>19</sub>H<sub>10</sub>Br<sub>4</sub>O<sub>5</sub>S)，溶于乙醇 [φ(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)=95%]中，并稀释至 100 mL。

17.1.2.2.8 吡咯烷二硫代氨基甲酸铵溶液(APDC)[20g/L]：称取 2 g 吡咯烷二硫代氨基甲酸铵(C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>S<sub>2</sub>)

溶于水中，滤去不溶物，并稀释至 100 mL，临用前配制。

### 17.1.2.3 仪器和设备

17.1.2.3.1 原子吸收光谱仪：配有铁、锰、铜、锌、镉、铅空心阴极灯。

17.1.2.3.2 分液漏斗：125 mL。

17.1.2.3.3 具塞试管：10 mL。

17.1.2.3.4 分析天平：感量为 0.1 g 和 0.001 g。

### 17.1.2.4 分析步骤

吸取 100 mL 水样于 125 mL 分液漏斗中。

分别向 6 个 125 mL 分液漏斗中加入各金属标准工作溶液 0 mL, 0.25 mL, 0.50 mL, 1.00 mL, 2.00 mL 和 3.00 mL, 加每升含 1.5 mL 硝酸的水至 100 mL, 配成含有铁、锰、铅 0 μg/L、25.0 μg/L、50.0 μg/L、100.0 μg/L、200.0 μg/L 和 300.0 μg/L; 含有铜 0 μg/L、7.50 μg/L、15.0 μg/L、30.0 μg/L、60.0 μg/L 和 90.0 μg/L; 含有锌、镉 0 μg/L、2.50 μg/L、5.00 μg/L、10.0 μg/L、20.0 μg/L 和 30.0 μg/L 的标准系列。

向盛有水样及金属标准溶液的分液漏斗中各加 5 mL 酒石酸溶液，混匀。以溴酚蓝指示剂，用硝酸溶液或氢氧化钠溶液调节水样及标准溶液的 pH 至 2.2~2.8，此时溶液由蓝色变为黄色。

向各分液漏斗加入 2.5 mL 吡咯烷二硫代氨基甲酸铵溶液，混匀。再各加入 10 mL 甲基异丁基甲酮，振摇 2 min。静置分层，弃去水相。用滤纸或脱脂棉擦去分液漏斗颈内壁的水膜。另取干燥脱脂棉少许塞于分液漏斗颈末端，将萃取液通过脱脂棉滤入干燥的具塞试管中。

将甲基异丁基甲酮通过细导管喷入火焰，并调节进样量为每分钟 0.8 mL~1.5 mL。减少乙炔流量，调节火焰至正常高度。

将标准系列和试样萃取液及甲基异丁基甲酮间隔喷入火焰，测定吸光度（测定应在萃取后 5 h 内完成）。绘制校准曲线，并查出水样中待测金属的质量浓度(mg/L)。

### 17.1.2.5 分析结果的表述

试样中待测金属含量按式 (21) 计算：

$$\rho(B) = \frac{\rho_1 \times 100}{V} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

$\rho(B)$ ——水样中待测金属的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得待测金属质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

100——用水稀释后的体积，单位为毫升 (mL)。

### 17.1.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 17.1.2.7 其他

本方法定量限分别为：铁、锰、铅，25 μg/L；铜，7.5 μg/L；锌、镉，2.5 μg/L。

## 17.1.3 共沉淀法

### 17.1.3.1 原理

水样中的铜、铁、锌、锰、镉、铅等金属离子经氢氧化镁共沉淀捕集后，加硝酸溶解沉淀，酸液喷雾，测定各自波长下的吸光度，求出待测金属离子的浓度。

### 17.1.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

17.1.3.2.1 各种金属离子的标准储备溶液：同 17.1.1.2.1~17.1.1.2.5。

17.1.3.2.2 各种金属离子的混合标准溶液：分别吸取一定量的各种金属离子标准储备溶液置于同一容量瓶中，用每升含 1.5 mL 硝酸的水稀释，使成下列浓度：镉，1.00 μg/mL；铜、锰，2.00 μg/mL；铁、锌，2.50 μg/mL；铅，5.00 μg/mL。

17.1.3.2.3 氯化镁溶液(100 g/L): 称取 10 g 氯化镁( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )用水溶解, 并稀释至 100 mL。

17.1.3.2.4 氢氧化钠溶液(200 g/L)。

17.1.3.2.5 硝酸溶液(1+1)。

### 17.1.3.3 仪器和设备

17.1.3.3.1 原子吸收光谱仪: 配有铁、锰、铜、锌、镉、铅空心阴极灯。

17.1.3.3.2 量筒: 250 mL。

17.1.3.3.3 容量瓶: 25 mL。

### 17.1.3.4 分析步骤

17.1.3.4.1 量取 250 mL 水样于量筒中, 加入 2 mL 氯化镁溶液, 边搅拌边滴加 2 mL 氢氧化钠溶液(如加酸保存水样, 则先用氨水中和至中性)。然后继续搅拌 1min。静置使沉淀下降到 25 mL 以下(约需 2h), 用虹吸法吸去上清液至剩余体积为 20 mL 左右, 加 1 mL 硝酸溶液溶解沉淀, 转入 25 mL 容量瓶中, 加水至刻度, 摇匀。

17.1.3.4.2 另取 6 个量筒, 分别加入混合标准溶液 0 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL 和 5.00 mL, 加水至 250 mL, 以下操作按 17.1.3.4.1 进行。

17.1.3.4.3 将水样及标准系列溶液分别喷雾, 测量各自波长下的吸光度。绘制校准曲线, 并查出水样中各金属离子的质量浓度。

### 17.1.3.5 分析结果的表述

可从校准曲线上直接查出各金属离子的质量浓度。

### 17.1.3.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 17.1.3.7 其他

本方法定量限分别为: 铜、锰, 0.008 mg/L; 锌、铁, 0.01 mg/L; 镉, 0.004 mg/L; 铅, 0.02 mg/L。

## 17.1.4 巯基棉富集法

### 17.1.4.1 原理

水中痕量的铅、镉、铜经巯基棉富集分离后, 在盐酸介质中用火焰原子吸收光谱法测定, 以吸光度定量。

### 17.1.4.2 试剂和材料

注: 除非另有规定, 本方法中所用试剂均为分析纯, 水为 GB/T 6682 规定的二级水。

17.1.4.2.1 铅、镉、铜标准储备溶液: 同 17.1.1.2.5, 17.1.1.2.4, 17.1.1.2.2。

17.1.4.3.2 铅、镉、铜混合标准溶液: 用铅、镉、铜标准储备溶液稀释成下列浓度的混合标准溶液:  $\rho(\text{Pb})=10 \mu\text{g/mL}$ ,  $\rho(\text{Cd})=10 \mu\text{g/mL}$  和  $\rho(\text{Cu})=10 \mu\text{g/mL}$ 。

17.1.4.3.3 巯基棉: 取 100 mL 巯基乙醇酸( $\text{CH}_2\text{SHCOOH}$ ), 70 mL 乙酸酐[( $\text{CH}_3\text{CO}$ ) $_2\text{O}$ ], 32 mL 乙酸 [ $\rho(\text{CH}_3\text{COOH})=36\%$ ], 0.3 mL 硫酸( $\rho_{20}=1.84 \text{ g/mL}$ )及 10 mL 去离子水, 依次加到 250 mL 广口瓶中, 充分摇匀, 冷却至室温。另取 30 g 脱脂棉放入广口瓶中, 让棉花完全浸湿, 待反应热散去后(必要时可用冷水冷却), 加盖, 在 35 °C 烘箱中放置 2~4 天后取出, 经漏斗或滤器抽滤至干。用水充分洗去未反应的物质, 再加入盐酸溶液(1 mol/L)淋洗, 最后用水淋洗至中性。抽干后摊开, 在 30 °C 烘箱中烘干, 于棕色瓶中密闭冷暗处保存, 有效期为一年。

### 17.1.4.3 仪器和设备

本方法所用玻璃器皿均用硝酸溶液(1+4)浸泡 12 h, 并用水洗净。

17.1.4.3.1 原子吸收光谱仪: 配有铜、镉、铅空心阴极灯。

17.1.4.3.2 巯基棉富集装置: 用 500 mL 分液漏斗制成。

17.1.4.3.3 具塞刻度试管: 10 mL。

### 17.1.4.4 分析步骤

17.1.4.4.1 称取 0.1 g 巯基棉均匀地装入分液漏斗的颈管中，加入少量水使巯基棉湿润。加入 5 mL 盐酸溶液(1+98)通过巯基棉，再用水淋洗至中性。

17.1.4.4.2 取 500 mL 加硝酸保存的水样，用氨水(1+9)调节 pH 为 6.0~7.5，移入 500 mL 分液漏斗中，以 5 mL/min 的流速使水样通过巯基棉，水样流完后用洗耳球吹尽颈管中残留水样。用 4.5 mL 80 °C 热盐酸溶液分两次通过巯基棉洗脱待测组分，收集洗脱液于 10 mL 刻度试管内(每次吹尽巯基棉中的残留液)，加水定容至 5 mL。

17.1.4.4.3 吸取铅、镉、铜混合标准溶液 0 mL、1.00 mL、3.00 mL、5.00 mL 和 7.50 mL 分别置于 5 支 25 mL 比色管中，用盐酸溶液(1+49)稀释至刻度。

17.1.4.4.4 将标准系列和试样溶液依次喷入火焰，测定吸光度，绘制校准曲线并查出各待测金属的质量。

#### 17.1.4.5 分析结果的表述

试样中铜（镉或铅）含量按式（22）计算：

$$\rho(B) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

$\rho(B)$ ——水样中铜(镉或铅)质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线查得试样中的金属质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

#### 17.1.4.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 17.1.4.7 其他

本方法定量限：铅 0.004 mg/L；镉 0.0004 mg/L；铜 0.004 mg/L。

### 17.2 石墨炉原子吸收光谱法

#### 17.2.1 原理

试样经适当处理后，注入石墨炉原子化器，所含的金属离子在石墨管内以原子化高温蒸发解离为原子蒸气。待测元素的基态原子吸收来自同种元素空心阴极灯发射的共振线，其吸收强度在一定范围内与金属浓度成正比。

#### 17.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

17.2.2.1 铜标准储备溶液[ $\rho(\text{Cu})=1 \text{ mg/mL}$ ]：称取 0.5000 g 纯铜粉溶于 10 mL 硝酸溶液 (1+1) 中，并用水定容至 500 mL。

17.2.2.2 铜标准中间溶液[ $\rho(\text{Cu})=50 \mu\text{g/mL}$ ]：吸取 5.00 mL 铜标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液 (1+99) 定容至刻度，摇匀。

17.2.2.3 铜标准工作溶液[ $\rho(\text{Cu})=1 \mu\text{g/mL}$ ]：吸取 2.00 mL 铜标准中间溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液 (1+99) 定容至刻度，摇匀。

#### 17.2.3 仪器和设备

17.2.3.1 石墨炉原子吸收光谱仪：配有铜元素空心阴极灯。

17.2.3.2 氩气钢瓶。

17.2.3.3 微量加液器：20  $\mu\text{L}$ 。

17.2.3.4 容量瓶：100 mL。

#### 17.2.4 仪器工作条件

参考仪器说明书将仪器工作条件调整至测铜最佳状态，波长 324.7nm，石墨炉工作程序见表 6。

表 6 石墨炉工作程序

程序	干燥	灰化	原子化	清除
温度/°C	120	900	2300	2500
斜率/s	20	10	-	-
保持/s	10	20	5	3
氩气流量/(mL/min)	-	300	0	300

### 17.2.5 分析步骤

17.2.5.1 吸取铜标准工作溶液 0 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL 和 4.00 mL 于 5 个 100 mL 容量瓶内，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀，分别配制成  $\rho(\text{Cu})=0 \text{ ng/mL}$ 、 $10.0 \text{ ng/mL}$ 、 $20.0 \text{ ng/mL}$ 、 $30.0 \text{ ng/mL}$  和  $40.0 \text{ ng/mL}$  的标准系列。

17.2.5.2 仪器参数设定后依次吸取 20  $\mu\text{L}$  试剂空白、标准系列和试样，注入石墨管，启动石墨炉控制程序和记录仪，记录吸收峰高或峰面积。绘制校准曲线，并从曲线上查出铜的质量浓度。

### 17.2.6 分析结果的表述

试样中铜含量按式 (23) 计算：

$$\rho(\text{Cu}) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \dots\dots\dots (23)$$

式中：

$\rho(\text{Cu})$ ——水样中铜的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得试样中铜的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；

$V_1$ ——测定试样的体积，单位为毫升 (mL)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

### 17.2.7 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 17.2.8 其他

本方法定量限为  $1.7 \mu\text{g/L}$ 。

## 17.3 二乙基二硫代氨基甲酸钠分光光度法

### 17.3.1 原理

在 pH 9~pH11 的氨溶液中，铜离子与二乙基二硫代氨基甲酸钠反应，生成棕黄色络合物，用四氯化碳或三氯甲烷萃取后比色定量。

### 17.3.2 试剂

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

#### 17.3.2.1 氨水(1+1)。

#### 17.3.2.2 四氯化碳或三氯甲烷。

17.3.2.3 二乙基二硫代氨基甲酸钠溶液(1 g/L)：准确称取 0.1 g 二乙基二硫代氨基甲酸钠  $[(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NCS}_2\text{Na}]$ ，溶于水中并稀释至 100mL。储存于棕色瓶内，在冰箱内保存。

17.3.2.4 乙二胺四乙酸二钠—柠檬酸三铵溶液：称取 5 g 乙二胺四乙酸二钠  $(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  和 20g 柠檬酸三铵  $[(\text{NH}_4)_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7]$ ，溶于水中，并稀释成 100 mL。

17.3.2.5 铜标准工作溶液  $[\rho(\text{Cu})=10 \mu\text{g/mL}]$ ：吸取 10.00 mL 铜标准储备溶液，用水定容至 1 000 mL。

17.3.2.6 甲酚红溶液(1.0g/L)：准确称取 0.1 g 甲酚红  $(\text{C}_{21}\text{H}_{18}\text{O}_5\text{S})$ ，溶于乙醇  $[\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%]$  并稀释至 100 mL。

### 17.3.3 仪器和设备

17.3.3.1 分液漏斗：250 mL。

17.3.3.2 具色比色管：10 mL。

17.3.3.3 分光光度计。

#### 17.3.4 分析步骤

17.3.4.1 取 100 mL 水样于 250 mL 分液漏斗中（若水样色度过高时，可置于烧杯中，加入少量过硫酸铵，煮沸，使体积浓缩至 70 mL，冷却后加水稀释至 100 mL）。

17.3.4.2 另取 6 个 250 mL 分液漏斗，各加 100 mL 水，然后分别加入铜标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.40 mL、0.60 mL、0.80 mL 和 1.00 mL，混匀。

17.3.4.3 向试样及标准系列溶液中各加 5 mL 乙二胺四乙酸二钠-柠檬酸三铵溶液及 3 滴甲酚红溶液，滴加氨水至溶液由黄色变为浅红色，再各加 5 mL 二乙基二硫代氨基甲酸钠溶液，混匀，放置 5 min。

17.3.4.4 各加 10.0 mL 四氯化碳或三氯甲烷，振摇 2 min，静置分层。用脱脂棉擦去分液漏斗颈内水膜，将四氯化碳放入干燥的 10 mL 具塞比色管中。

17.3.4.5 于波长 436 nm 处，用 2 cm 比色皿，以四氯化碳为参比，测量试样及标准系列溶液的吸光度。绘制校准曲线，并从曲线上查出试样管中铜的质量。

#### 17.3.5 分析结果的表述

试样中铜含量按式（24）计算：

$$\rho(\text{Cu}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中：

$\rho(\text{Cu})$ ——水样中铜的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$m$ ——从校准曲线上查得试样管中铜的质量，单位为微克（ $\mu\text{g}$ ）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）；

1 000——单位换算系数。

#### 17.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 17.3.7 其他

本方法定量限为 0.02 mg/L。

### 18 锌

#### 18.1 火焰原子吸收光谱法

##### 18.1.1 直接法

同 17.1.1。

##### 18.1.2 萃取法

同 17.1.2。

##### 18.1.3 共沉淀法

同 17.1.3。

#### 18.2 催化示波极谱法

##### 18.2.1 原理

在酒石酸钾钠-乙二胺体系中，锌与乙二胺形成络合物，吸附于滴汞电极上，在-1.45V 形成灵敏的络合物吸附催化波，其峰高与锌含量成正比。

##### 18.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

18.2.2.1 酒石酸钾钠溶液(40 g/L)：称取 4 g 酒石酸钾钠( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )，用水溶解并稀释至 100 mL。

18.2.2.2 乙二胺溶液(1+1.5)：取 40 mL 乙二胺( $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ )，加 60 mL 水，混匀。

18.2.2.3 无水亚硫酸钠溶液(10 g/L)：称取 1 g 无水亚硫酸钠( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )，用水溶解并稀释至 100 mL。

18.2.2.4 硝酸-高氯酸(1+1)：取硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ )与高氯酸( $\rho_{20}=1.67 \text{ g/mL}$ )等体积混合。

18.2.2.5 锌标准储备溶液[ $\rho(\text{Zn})=1 \text{ mg/mL}$ ]：同 17.1.1.2.3。

18.2.2.6 锌标准工作溶液[ $\rho(\text{Zn})=1 \mu\text{g/mL}$ ]：将锌标准储备溶液用水逐级稀释。

### 18.2.3 仪器和设备

18.2.3.1 瓷坩埚：30 mL。

18.2.3.2 电热板。

18.2.3.3 示波极谱仪。

### 18.2.4 分析步骤

18.2.4.1 吸取 10.0 mL 水样于 30 mL 瓷坩埚中，加入 0.5 mL 硝酸-高氯酸，在电热板上缓缓消化，直至得到白色残渣。同时作试剂空白。

18.2.4.2 取 8 个 30 mL 瓷坩埚，分别加入锌标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.30 mL、0.50 mL、0.80 mL、1.00 mL、1.20 mL 和 1.50 mL。

18.2.4.3 向试样及标准中各加入 2.0 mL 酒石酸钾钠溶液，0.5 mL 无水亚硫酸钠溶液，1.0 mL 乙二胺溶液，加水至 10.0 mL。

18.2.4.4 于示波极谱仪上，用三电极系统，阴极化，原点电位为-1.30V，导数扫描。在-1.45V 处读取水样及标准系列的峰高。以锌质量为横座标，峰高为纵座标，绘制校准曲线，从曲线上查出水样中锌的质量。

### 18.2.5 分析结果的表述

试样中锌含量按式 (25) 计算：

$$\rho(\text{Zn}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中：

$\rho(\text{Zn})$ ——水样中锌质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线中查出水样中锌质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

### 18.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 18.2.7 其他

本方法定量限为 10  $\mu\text{g/L}$ 。

## 19 总铬—石墨炉原子吸收光谱法

### 19.1 原理

同 17.2.1。

### 19.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

19.2.1 硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ )：优级纯。

19.2.2 硝酸溶液 (1+99)。

19.2.3 铬标准储备溶液[ $\rho(\text{Cr})=1.0 \text{ mg/mL}$ ]: 准确称取 1.4135 g 经 110 °C 烘 2h 的重铬酸钾 ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 优级纯) 溶于水中, 定容至 500 mL。

19.2.4 铬标准中间溶液 I [ $\rho(\text{Cr})=100.0 \text{ } \mu\text{g/mL}$ ]: 吸取 10.0 mL 铬标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中, 用硝酸溶液 (1+99) 稀释至刻度, 摇匀。

19.2.5 铬标准中间溶液 II [ $\rho(\text{Cr})=1.0 \text{ } \mu\text{g/mL}$ ]: 吸取 1.0 mL 铬标准中间溶液 I 于 100 mL 容量瓶中, 用硝酸溶液 (1+99) 稀释至刻度, 摇匀。

19.2.6 铬标准工作溶液 [ $\rho(\text{Cr})=100.0 \text{ ng/mL}$ ]: 吸取 10.0 mL 铬标准中间溶液 II 于 100 mL 容量瓶中, 用硝酸溶液 (1+99) 稀释至刻度, 摇匀。

### 19.3 仪器和设备

19.3.1 石墨炉原子吸收光谱仪: 配有铬空心阴极灯。

19.3.2 氙气钢瓶气。

19.3.3 微量加液器: 20  $\mu\text{L}$ 。

### 19.4 分析步骤

19.4.1 吸取铬标准工作溶液 0 mL、2.0 mL、4.0 mL、6.0 mL、8.0 mL 和 10.0 mL 于 100 mL 容量瓶中, 用去离子水定容至刻度, 摇匀。分别配制成含铬为 0.00  $\mu\text{g/L}$ 、2.00  $\mu\text{g/L}$ 、4.00  $\mu\text{g/L}$ 、6.00  $\mu\text{g/L}$ 、8.00  $\mu\text{g/L}$  和 10.00  $\mu\text{g/L}$  的标准系列。

19.4.2 仪器工作条件

参照仪器说明书将仪器工作条件调整至测总铬的最佳状态, 波长 357.9 nm, 石墨炉工作程序见表 7。

表 7 石墨炉工作程序

程序	干燥			灰化	原子化	清除
	1	2	3			
温度/°C	85	95	120	1000	2600	2700
斜坡/s	5	30	20	10	0.8	2
保持/s	—	—	—	7	2	—
氙气流量/(mL/min)	3000			3000, 最后 2s 停气	0	3000

19.4.3 仪器参数设定后依次吸取 20  $\mu\text{L}$  试剂空白、标准系列和试样, 注入石墨管, 启动石墨炉控制程序和记录仪, 记录吸收峰高或峰面积。绘制校准曲线, 并从曲线上查出试样中总铬的质量浓度。

### 19.5 分析结果的表述

若水样经浓缩或稀释, 从校准曲线上查出总铬的质量浓度后按式 (26) 计算:

$$\rho(\text{Cr}) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中:

$\rho(\text{Cr})$ ——水样中总铬的质量浓度, 单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ );

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得的试样中总铬的质量浓度, 单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ );

$V_1$ ——测定试样的体积, 单位为毫升 (mL);

$V$ ——水样体积, 单位为毫升 (mL)。

### 19.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 19.7 其他

本方法的定量限为 0.47  $\mu\text{g/L}$ 。

## 20 铅

### 20.1 火焰原子吸收光谱法

#### 20.1.1 直接法

同 17.1.1。

#### 20.1.2 萃取法

同 17.1.2。

#### 20.1.3 共沉淀法

同 17.1.3。

#### 20.1.4 巯基棉富集法

同 17.1.4。

### 20.2 石墨炉原子吸收光谱法

#### 20.2.1 原理

同 17.2.1。

#### 20.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

20.2.2.1 铅标准储备溶液[ $\rho(\text{Pb})=1 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 0.7990 g 硝酸铅[ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ]，溶于约 100 mL 水中，加入 1 mL 硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ )，并用水定容至 500 mL。

20.2.2.2 铅标准中间溶液[ $\rho(\text{Pb})=50 \mu\text{g/mL}$ ]：吸取 5.00 mL 铅标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

20.2.2.3 铅标准工作溶液[ $\rho(\text{Pb})=1 \mu\text{g/mL}$ ]：吸取 2.00 mL 铅标准中间溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

20.2.2.4 磷酸二氢铵溶液(120 g/L)：称取 12 g 磷酸二氢铵( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ，优级纯)，加水溶解并定容至 100 mL。

20.2.2.5 硝酸镁溶液(50 g/L)：称取 5 g 硝酸镁[ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ]，优级纯，加水溶解并定容至 100 mL。

#### 20.2.3 仪器和设备

20.2.3.1 石墨炉原子吸收光谱仪：配有铅元素空心阴极灯。

20.2.3.2 氦气钢瓶。

20.2.3.3 微量加样器：20  $\mu\text{L}$ 。

20.2.3.4 容量瓶：100 mL。

#### 20.2.4 分析步骤

20.2.4.1 吸取铅标准工作溶液(20.2.2.3) 0 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL 和 4.00 mL 于 5 个 100 mL 容量瓶内，分别加入 10 mL 磷酸二氢铵溶液，1 mL 硝酸镁溶液，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀，分别配制成浓度为 0 ng/mL、10.0 ng/mL、20.0 ng/mL、30.0 ng/mL 和 40.0 ng/mL 的标准系列。

20.2.4.2 吸取 10 mL 水样，加入 1.0 mL 磷酸二氢铵溶液(20.2.2.4)和 0.1 mL 硝酸镁溶液，同时取 10 mL 硝酸溶液(1+99)，加入等量磷酸二氢铵溶液和硝酸镁溶液作为空白。

20.2.4.3 仪器参数设定后依次吸取 20  $\mu\text{L}$  试剂空白，标准系列和试样，注入石墨管，启动石墨炉控制程序和记录仪，记录吸收峰高或峰面积。绘制校准曲线，并从曲线中查出铅的质量浓度。

#### 20.2.4.4 仪器工作条件

参考仪器说明书将仪器工作条件调整至测铅最佳状态，波长 283.3 nm，石墨炉工作程序见表 8。

表 8 石墨炉工作程序

程序	干燥	灰化	原子化	清除
温度/°C	120	600	2100	2300
斜率/s	20	10	-	-
保持/s	10	20	5	3
氩气流量/(mL/min)	-	300	0	300

### 20.2.5 分析结果的表述

若水样经浓缩或稀释，从校准曲线查出铅浓度后，按式（27）计算：

$$\rho(\text{Pb}) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \dots\dots\dots (27)$$

式中：

$\rho(\text{Pb})$ ——水样中铅的质量浓度，单位为微克每升（ $\mu\text{g/L}$ ）；

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得试样中铅的质量浓度，单位为微克每升（ $\mu\text{g/L}$ ）；

$V_1$ ——测定试样的体积，单位为毫升（mL）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）。

### 20.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 20.2.7 其他

本方法定量限为 0.13  $\mu\text{g/L}$ 。

## 20.3 催化示波极谱法

### 20.3.1 原理

在盐酸—碘化钾—酒石酸底液中，铅在 -0.49 V 产生灵敏的吸附催化波。在一定范围内，铅浓度与其峰电流呈线性关系，可测定水中铅含量。

### 20.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

20.3.2.1 盐酸( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ )。

20.3.2.2 硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ )。

20.3.2.3 磷酸( $\rho_{20}=1.71 \text{ g/mL}$ )。

20.3.2.4 盐酸—碘化钾—酒石酸混合底液：准确称取 5 g 酒石酸( $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ )、5 g 碘化钾及 0.6 g 抗坏血酸( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ )于 200 mL 烧杯中，加 10 mL 盐酸和 5 mL 磷酸，加水溶解，移入 1000mL 容量瓶内，用水稀释为 1000mL。

20.3.2.5 铅标准储备溶液[ $\rho(\text{Pb})=100 \mu\text{g/mL}$ ]：准确称取 0.1598 g 经 105 °C 烘烤过的硝酸铅[ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ]，溶于含有 1 mL 硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ )的水中，并用水定容至 1 000 mL。

20.3.2.6 铅标准工作溶液[ $\rho(\text{Pb})=1 \mu\text{g/mL}$ ]：吸取 1.00 mL 铅标准储备溶液于 100 mL 容量瓶内，用混合底液定容。

### 20.3.3 仪器和设备

20.3.3.1 锥形瓶：100 mL。

20.3.3.2 电热板。

20.3.3.3 示波极谱仪。

### 20.3.4 分析步骤

20.3.4.1 吸取 20.0 mL 水样于 100 mL 锥形瓶内，加 1.0 mL 硝酸，2.0 mL 盐酸，于电热板上缓缓加热蒸干

并消化成白色残渣。加 5 mL 水，继续加热蒸干，同时作试剂空白。

20.3.4.2 向锥形瓶内加入 10.0 mL 铅混合底液，振摇使残渣溶解，移入 30 mL 瓷坩埚中。

20.3.4.3 分别吸取铅混合标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.30 mL、0.40 mL、0.50 mL、0.60 mL、0.80 mL 及 1.00 mL 于 30 mL 瓷坩埚中，加混合底液至 10.0 mL，混匀。

20.3.4.4 于示波极谱仪上，用三电极系统，阴极化，原点电位-0.3 V，导数扫描。在-0.49 V 与-0.60 V 处读取水样及标准系列铅、镉的峰高。以铅和镉质量为横坐标，峰高为纵坐标，绘制校准曲线，从曲线上查出水样中铅的质量。

### 20.3.5 分析结果的表述

试样中铅和镉的含量按式（28）计算：

$$\rho(\text{Pb}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中：

$\rho(\text{Pb})$ ——水中铅质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$m$ ——从校准曲线上查得的铅质量，单位为微克（ $\mu\text{g}$ ）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）；

1 000——单位换算系数。

### 20.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 20.3.7 其他

本方法铅的定量限为 0.01 mg/L。

## 21 镉

### 21.1 火焰原子吸收光谱法

#### 21.1.1 直接法

同 17.1.1。

#### 21.1.2 萃取法

同 17.1.2。

#### 21.1.3 共沉淀法

同 17.1.3。

#### 21.1.4 巯基棉富集法

同 17.1.4。

### 21.2 石墨炉原子吸收光谱法

#### 21.2.1 原理

同 17.2.1。

#### 21.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

21.2.2.1 镉标准储备溶液[ $\rho(\text{Cd})=1 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 0.5000 g 镉，溶于 5 mL 硝酸溶液(1+1)中，并用水定容至 500 mL。

21.2.2.2 镉标准中间溶液[ $\rho(\text{Cd})=1 \mu\text{g/mL}$ ]：吸取 5.00 mL 镉标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀，此溶液  $\rho(\text{Cd})=50 \mu\text{g/mL}$ 。再吸取 2.00 mL 此溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)定容。

21.2.2.3 镉标准工作溶液[ $\rho(\text{Cd})=100 \text{ ng/mL}$ ]：吸取 10.00 mL 镉标准中间溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝

酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

21.2.2.4 磷酸二氢铵溶液(120 g/L): 称取 12 g 磷酸二氢铵 ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 优级纯), 加水溶解并定容至 100 mL。

21.2.2.5 硝酸镁溶液(50g/L): 称取 5 g 优级纯硝酸镁 [ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ , 优级纯], 加水溶解并定容至 100 mL。

### 21.2.3 仪器和设备

21.2.3.1 石墨炉原子吸收光谱仪: 配有镉元素空心阴极灯。

21.2.3.2 氦气钢瓶。

21.2.3.3 微量加样器: 20  $\mu\text{L}$ 。

21.2.3.4 容量瓶: 100 mL。

### 21.2.4 分析步骤

21.2.4.1 分别吸取镉标准工作溶液 0 mL、1.00 mL、3.00 mL、5.00 mL 和 7.00 mL 于 5 个 100 mL 容量瓶内, 分别加入 10 mL 磷酸二氢铵溶液, 1 mL 硝酸镁溶液, 用硝酸溶液(1+99)定容至刻度, 摇匀, 配制成  $\rho(\text{Cd})=0 \text{ ng/mL}$ 、1 ng/mL、3 ng/mL、5 ng/mL 和 7 ng/mL 的标准系列。

21.2.4.2 吸取 10.0 mL 水样, 加入 1.0 mL 磷酸二氢铵溶液, 0.1 mL 硝酸镁溶液, 同时取 10 mL 硝酸溶液(1+99), 加入等体积磷酸二氢铵溶液和硝酸镁溶液作为空白。

21.2.4.3 仪器参数设定后依次吸取 20  $\mu\text{L}$  试剂空白, 标准系列和试样, 注入石墨管, 启动石墨炉控制程序和记录仪, 记录吸收峰高或峰面积, 绘制校准曲线, 并从曲线中查出镉的质量浓度。

#### 21.2.4.4 仪器工作条件

参考仪器说明书将仪器工作条件调整至测镉最佳状态, 波长 228.8 nm, 石墨炉工作程序见表 9。

表 9 石墨炉工作程序

程序	干燥	灰化	原子化	清除
温度/ $^{\circ}\text{C}$	120	900	1800	2100
斜率/s	20	10	-	-
保持/s	10	20	5	3
氦气流量/(mL/min)	-	300	0	300

### 21.2.5 分析结果的表述

若水样经浓缩或稀释, 从校准曲线查出镉浓度后, 按式 (29) 计算:

$$\rho(\text{Cd}) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中:

$\rho(\text{Cd})$ ——水样中镉的质量浓度, 单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ );

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得水样中镉的质量浓度, 单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ );

$V_1$ ——测定试样的体积, 单位为毫升 (mL);

$V$ ——水样体积, 单位为毫升 (mL)。

### 21.2.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 21.2.7 其他

本方法铅的定量限为 0.13  $\mu\text{g/L}$ 。

## 22 总汞

### 22.1 冷原子吸收法

### 22.1.1 原理

汞蒸气在波长 253.7 nm 的紫外光下具有最大吸收值，在一定的汞浓度范围内，吸收值与汞蒸气的浓度成正比。水样经消解后加入氯化亚锡将化合态的汞转为元素态汞，用载气带入原子吸收仪的光路中，测定其吸光度。

### 22.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

22.1.2.1 硝酸溶液(1+19): 取 50 mL 硝酸( $\rho_{20}=1.42$  g/mL)，加至 950 mL 水中，混匀。

22.1.2.2 重铬酸钾硝酸溶液(0.5g/L): 称取 0.5g 重铬酸钾( $K_2Cr_2O_7$ )，用硝酸溶液溶解，并稀释为 1 000 mL。

22.1.2.3 硫酸( $\rho_{20}=1.84$  g/mL)。

22.1.2.4 高锰酸钾溶液(50 g/L): 称取 5 g 高锰酸钾( $KMnO_4$ )，加热溶于水中，并稀释至 100 mL。放置过夜，取上清液使用。

注：高锰酸钾中含有微量汞时很难除去，选用时要注意。

22.1.2.5 盐酸羟胺溶液(100 g/L): 称取 10 g 盐酸羟胺( $NH_2OH \cdot HCl$ )，溶于水中并稀释至 100 mL。如果试剂空白高，以 2.5 L/min 的流量通入氮气或净化过的空气 30 min。

22.1.2.6 氯化亚锡溶液(100 g/L): 称取 10 g 氯化亚锡( $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ )，先溶于 10 mL 盐酸( $\rho_{20}=1.19$  g/mL)中，必要时可稍加热，然后用水稀释至 100 mL。如果试剂空白值高，以 2.5 L/min 的流量通入氮气或净化过的空气 30 min。

22.1.2.7 溴酸钾-溴化钾溶液: 称取 2.784 g 溴酸钾( $KBrO_3$ )和 10 g 溴化钾( $KBr$ )，溶于水中并稀释至 1 000 mL。

22.1.2.8 汞标准储备溶液[ $\rho(Hg)=100$   $\mu g/mL$ ]: 准确称取 0.1353 g 经硅胶干燥器放置 24 h 的氯化汞( $HgCl_2$ )，溶于重铬酸钾硝酸溶液，并用此溶液定容至 1 000 mL。

22.1.2.9 汞标准工作溶液[ $\rho(Hg)=0.05$   $\mu g/mL$ ]: 临用前吸取 10.00 mL 汞标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，用重铬酸钾硝酸溶液定容至 100 mL。再吸取 5.00 mL 此溶液，用重铬酸钾硝酸溶液定容至 1 000 mL。

### 22.1.3 仪器和设备

本法使用的玻璃仪器，包括试剂瓶和采水样瓶，均需用硝酸溶液(1+1)浸泡过夜，再依次用自来水、水冲洗洁净。

22.1.3.1 锥形瓶: 100 mL。

22.1.3.2 容量瓶: 50 mL。

22.1.3.3 汞蒸气发生管。

22.1.3.4 冷原子吸收测汞仪。

### 22.1.4 分析步骤

22.1.4.1 预处理: 受到污染的水样采用硫酸-高锰酸钾消化法，清洁水样可采用溴酸钾-溴化钾消化法。

#### 22.1.4.1.1 硫酸-高锰酸钾消化法

于 100 mL 锥形瓶中，加入 2 mL 高锰酸钾溶液及 40.0 mL 水样。另取 100 mL 锥形瓶 8 个，各加入 2 mL 高锰酸钾溶液，然后分别加入汞标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL 和 5.00 mL，加入水至 50 mL。向水样瓶及标准系列瓶中各滴加 2 mL 硫酸，混匀，置电炉上加热煮沸 5 min，取下放冷。逐滴加入盐酸羟胺溶液至高锰酸钾紫红色褪尽，放置 30 min。分别移入 50 mL 容量瓶中，加水稀释至刻度。

注 1: 试验证明，水源水用硫酸和高锰酸钾作氧化剂，直接加热分解，有机汞（包括氯化甲基汞）和无机汞均有良好的回收。高锰酸钾用量应根据水样中还原性物质的含量多少而增减。当水源水的耗氧量（酸性高锰酸钾法测定结果）在 20 mg/L 以下时，每 50 mL 水样中加入 2 mL 高锰酸钾溶液已足够。加热分解时应加入数粒玻璃珠，并在近沸时不时摇动锥形瓶，以防止因受热不均匀而引起暴沸。

注 2: 盐酸羟胺还原高锰酸钾过程中会产生氯气及氮氧化物，应在振摇后静置 30 min 使它逸失，以防止干扰汞蒸气

的测定。

#### 22.1.4.1.2 溴酸钾—溴化钾消化法

吸取 40.0 mL 水样于 100 mL 容量瓶中。另取 100 mL 容量瓶 8 个，分别加入汞标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL 和 5.00 mL，加水至 50 mL。向水样及标准系列溶液中各加 2 mL 硫酸，摇匀，加入 4 mL 溴酸钾—溴化钾溶液，摇匀后放置 10 min。滴加几滴盐酸羟胺溶液，至黄色褪尽为止(中止溴化作用)最后加水至 100 mL。

#### 22.1.4.2 测定

按照仪器说明书调整好测汞仪。从试样及标准系列中逐个吸取 25.0 mL 溶液于汞蒸气发生管中，加入 2 mL 氯化亚锡溶液，迅速塞紧瓶塞，轻轻振摇数次，放置 30 s。开启仪器气阀，此时汞蒸气被送入吸收池，待指针至最高读数时，记录吸收值。

注：影响汞蒸气发生的因素较多，如载气流量、温度、酸度、反应容器、气液体积比等。因此每次均应同时测定标准系列。

22.1.4.3 用峰高对浓度作图，绘制校准曲线，从曲线上查出所测水样中汞的质量。

#### 22.1.5 分析结果的表述

试样中汞含量按式(30)计算：

$$\rho(\text{Hg}) = \frac{m \times 1000}{V} \dots\dots\dots (30)$$

式中：

- $\rho(\text{Hg})$ ——水样中汞的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；
- $m$ ——从校准曲线上查得的水样中汞的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；
- $V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；
- 1000——换算系数。

#### 22.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 22.1.7 其他

本方法定量限为 0.2  $\mu\text{g/L}$ 。

### 22.2 氢化物发生原子荧光光谱法

#### 22.2.1 原理

在一定酸度下，溴酸钾与溴化钾反应生成溴，消解试样，使所含汞全部转化为二价无机汞，用盐酸羟胺还原过剩的氧化剂，再用氯化亚锡将二价汞还原为单质汞，用氩气作载气将其带入原子化器，形成的汞蒸气被光辐射激发，产生共振荧光。在低浓度范围内，荧光强度与汞的含量成正比。

#### 22.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

##### 22.2.2.1 硫酸( $\rho_{20}=1.84 \text{ g/mL}$ )

22.2.2.2 溴酸钾-溴化钾溶液：准确称取 2.784 g 溴酸钾( $\text{KBrO}_3$ )和 10 g 溴化钾( $\text{KBr}$ )，溶于水中并稀释至 1 000 mL。

22.2.2.3 盐酸羟胺(120 g/L)-氯化钠(120 g/L)溶液：称取 12 g 盐酸羟胺( $\text{NH}_2\text{OH HCl}$ )和 12 g 氯化钠( $\text{NaCl}$ )，溶于水稀释为 100 mL。如试剂空白值过高，以每 2.5 L/min 的流量通入氮气或净化的空气 30 min。

22.2.2.4 氯化亚锡溶液 (100 g/L)：同 22.1.2.6。

22.2.2.5 汞标准储备溶液 [ $\rho(\text{Hg})=100 \mu\text{g/mL}$ ]：同 22.1.2.8。

22.2.2.6 汞标准工作溶液 [ $\rho(\text{Hg})=0.05 \mu\text{g/mL}$ ]：同 22.1.2.9。

#### 22.2.3 仪器和设备

原子荧光光谱仪：配有汞特种空心阴极灯。

## 22.2.4 分析步骤

### 22.2.4.1 试样测定

吸取 50.0 mL 水样于 100 mL 容量瓶中，加 2.0 mL 硫酸，摇匀。加 4.0 mL 溴酸钾-溴化钾溶液，摇匀后室温(若室温低于 20 °C 可用水浴加热)下放置 10 min，加盐酸羟胺-氯化钠溶液至黄色褪尽，最后加水至 100 mL。

于汞蒸气发生器中加入 2.0 mL 氯化亚锡溶液，通入氩气，随后向汞蒸气发生器中注入 5 mL 试样，立即盖上磨口塞，测量荧光强度。

### 22.2.4.2 校准曲线的绘制

吸取汞标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.50 mL、1.0 mL、2.5 mL、5.0 mL、10.0 mL 于一系列 50 mL 容量瓶中，补加盐酸溶液（1+9）至刻度。以下操作同试样测定。

以汞的质量(μg)为横座标，荧光强度(峰高)为纵座标，绘制校准曲线。

### 22.2.4.3 仪器工作条件

参考仪器说明书将仪器工作条件调整至测汞最佳状态，原子荧光工作条件见表 10。

表 10 原子荧光工作条件

项目	条件
汞特种阴极灯电流/mA	40
光电倍增管负高压/V	250~260
原子化温度	室温
氩气压力/Mpa	0.015~0.02
氩气流量/(mL/min)	800

## 22.2.5 分析结果的表述

试样中汞含量按式（31）计算：

$$\rho(\text{Hg}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中：

$\rho(\text{Hg})$ ——水样中汞的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$m$ ——从校准曲线上查得的汞质量，单位为微克（μg）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）；

1000——单位换算系数。

## 22.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

## 22.2.7 其他

本方法定量限为 0.4 μg/L。

## 23 银

### 23.1 石墨炉原子吸收光谱法

#### 23.1.1 原理

同 17.2.1。

#### 23.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

23.1.2.1 银标准储备溶液[ $\rho(\text{Ag})=1\text{ mg/mL}$ ]: 准确称取 0.7875 g 硝酸银( $\text{AgNO}_3$ ), 溶于硝酸(1+99)中, 并用硝酸(1+99)稀释至 500 mL, 储存于棕色玻璃瓶中。

23.1.2.2 银标准中间溶液[ $\rho(\text{Ag})=50\text{ }\mu\text{g/mL}$ ]: 取 5.00 mL 银标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中, 用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度。

23.1.2.3 银标准工作溶液[ $\rho(\text{Ag})=1\text{ }\mu\text{g/mL}$ ]: 取 2.00 mL 银标准中间溶液于 100 mL 容量瓶中, 用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度。

23.1.2.4 磷酸二氢铵溶液(120 g/L): 称取 12 g 磷酸二氢铵( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 优级纯)加水溶解并定容至 100 mL。

### 23.1.3 仪器和设备

23.1.3.1 石墨炉原子吸收光谱仪: 配有银元素空心阴极灯。

23.1.3.2 氩气钢瓶。

23.1.3.3 微量加样器: 20  $\mu\text{L}$ 。

23.1.3.4 容量瓶: 100 mL。

### 23.1.4 分析步骤

23.1.4.1 吸取银标准工作溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL 和 3.00 mL 于 5 个 100 mL 容量瓶内, 各加入 10 mL 磷酸二氢铵溶液, 用硝酸溶液(1+99)定容至刻度, 摇匀, 分别配成  $\rho(\text{Ag})=0\text{ ng/mL}$ 、5 ng/mL、10 ng/mL、20 ng/mL 和 30 ng/mL 的标准系列。

23.1.4.2 吸取 10.0 mL 水样, 加入 1.0 mL 磷酸二氢铵溶液。同时吸取 10.0 mL 硝酸溶液(1+99), 加入 1.0 mL 磷酸二氢铵溶液, 作为空白。

23.1.4.3 仪器参数设定后依次吸取 20  $\mu\text{L}$  试剂空白, 标准系列和试样, 注入石墨管, 启动石墨炉控制程序和记录仪, 记录吸收峰高或峰面积。绘制校准曲线, 并从曲线上查出银的质量浓度。

#### 23.1.4.4 仪器工作条件

参考仪器说明书将仪器工作条件调整至测银最佳状态, 波长 324.7 nm, 石墨炉工作程序见表 11。

表 11 石墨炉工作程序

程序	干燥	灰化	原子化	清除
温度/ $^{\circ}\text{C}$	120	600	1700	2000
斜率/s	20	10	-	-
保持/s	10	20	5	3
氩气流量/(mL/min)	-	-	50	-

### 23.1.5 分析结果的表述

若试样经处理或稀释, 从校准曲线查出银质量浓度后, 按式(32)计算:

$$\rho(\text{Ag}) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中:

$\rho(\text{Ag})$ ——水样中银的质量浓度, 单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ );

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得试样中银的质量浓度, 单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ );

$V_1$ ——测定试样的体积, 单位为毫升 (mL);

$V$ ——水样体积, 单位为毫升 (mL)。

### 23.1.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 23.1.7 其他

本方法定量限为 0.14  $\mu\text{g/L}$ 。

## 23.2 巯基棉富集—高碘酸钾分光光度法

### 23.2.1 原理

水中痕量银经巯基棉富集分离后，在碱性介质中，在过硫酸钾助氧化剂存在下，高碘酸钾将氯化银(或氧化银)氧化成黄色银络盐，进行比色测定。

### 23.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

23.2.2.1 氢氧化钾溶液(140 g/L)：称取 70 g 氢氧化钾 (KOH)，溶于水中，稀释至 500 mL。

23.2.2.2 高碘酸钾溶液(23 g/L)：称取 11.5 g 高碘酸钾 (KIO<sub>4</sub>)，溶于 500 mL 氢氧化钾溶液中。

23.2.2.3 过硫酸钾溶液(20 g/L)：称取 2 g 过硫酸钾 (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>)，溶于 100 mL 水中。

23.2.2.4 盐酸溶液[c(HCl)=2 mol/L]：吸取 16.7 mL 盐酸 (ρ<sub>20</sub>=1.19 g/mL)，用水稀释至 100 mL。

23.2.2.5 氢氧化钠溶液(200 g/L)：称取 20 g 氢氧化钠 (NaOH)，溶于 100 mL 水中。

23.2.2.6 除干扰溶液：将乙二胺四乙酸二钠溶液 (50 g/L)，氟化铵溶液 (30 g/L)，柠檬酸钠 (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O) 溶液 (50 g/L)。临用时等体积混合。

23.2.2.7 缓冲溶液：临用时将乙酸溶液 (1+49) 和乙酸钠溶液 (100 g/L) 等体积混合。

23.2.2.8 硝酸溶液 (1+9)。

23.2.2.9 铬酸钾溶液 (50 g/L)：称取 5 g 铬酸钾 (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>)，溶于少量水中，加入硝酸银溶液至红色不褪，混匀，放置过夜，用水稀释至 100 mL。

23.2.2.10 巯基棉的制备：于广口瓶中依次加入 100 mL 巯基乙酸，60 mL 乙醚，40 mL 乙酸 (φ=36%)，0.3 mL 浓硫酸，充分混匀，冷却至室温后，加入 30 g 脱脂棉。浸泡完全。待反应热散去后 (必要时可用冷水冷却) 加盖，置于 35 °C~40 °C 烘箱中，2~4 d 后取出，用漏斗或滤器抽滤，用水充分洗涤，用 1 mol/L 盐酸淋洗后再用水洗至中性。抽干、摊干，于 30 °C 下烘干 (最好减压干燥)。成品应避光，密闭，低温保存，备用。

23.2.2.11 氯化钠标准工作溶液(以 Cl<sup>-</sup> 计, 0.500 mg/mL)：将氯化钠(NaCl)置于坩埚内，于 700 °C 灼烧 1 h，冷却后准确称取 8.242 g，溶于水中并定容至 1 000 mL。再吸取 10.0 mL 溶液，用水定容至 100 mL，此溶液 1.00 mL 含 0.500 mg 氯化物。

#### 23.2.2.12 硝酸银标准储备溶液

配制：称取 2.4 g 硝酸银，溶于水并定容至 1 000 mL，用氯化钠标准溶液标定其准确浓度。

标定：吸取 25.0 mL 氯化钠标准工作溶液，置于瓷蒸发皿内，加水 25 mL。另取一瓷蒸发皿，加 50 mL 水作为空白。各加入 1 mL 铬酸钾溶液，用硝酸银标准储备溶液滴定。同时用玻璃棒不停搅拌，直到产生淡橘黄色为止。

每毫升硝酸银储备溶液相当于银(Ag<sup>+</sup>)的毫克数，可用式 (33) 计算：

$$\rho(\text{Ag}) = \frac{25 \times 1.52}{V_1 - V_2} \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中：

$\rho(\text{Ag})$ ——每毫升硝酸银相当于银的质量，单位为毫克每毫升 (mg/mL)；

1.52——1 mL 氯化钠标准工作溶液(以 Cl<sup>-</sup> 计, 0.500 mg/mL)相当于硝酸银中 Ag<sup>+</sup>的浓度, 单位 mg/mL；

$V_2$ ——空白消耗硝酸银标准储备溶液体积，单位为毫升 (mL)；

$V_1$ ——氯化钠标准溶液消耗硝酸银储备溶液体积，单位为毫升 (mL)。

23.2.2.13 硝酸银标准工作溶液[ρ(Ag)=5.0 μg/mL]：校正硝酸银标准储备溶液(23.2.2.12)浓度，使 1.00 mL 含 5.0 μg 银。

### 23.2.3 仪器和设备

23.2.3.1 比色管：25 mL。

23.2.3.2 分液漏斗：250 mL。

23.2.3.3 水浴锅。

23.2.3.4 分光光度计。

## 23.2.4 分析步骤

### 23.2.4.1 水样预处理

银的富集：取 200 mL 水样[每 100 mL 水样含 1 mL 硝酸( $\rho_{20}=1.42$  g/mL)],加入 20 mL 缓冲液和 20 mL 除干扰溶液，混匀。移入颈部装有 0.1 g 巯基棉的分液漏斗中，控制流速约为 3 mL/min，待水样流完后用 5 mL 缓冲液淋洗漏斗，再用 10 mL 水冲洗二次。加 10 mL 硝酸通过巯基棉，并用水冲洗至中性。

银的洗脱：向分液漏斗中加入 5 mL 盐酸溶液，浸泡 2 min 后，使其缓缓流过巯基棉，再用 10 mL 水淋洗，将盐酸和水溶液一并收集于 25 mL 比色管中，待测。

### 23.2.4.2 测定

取 25 mL 比色管 7 支，分别加入硝酸银标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.40 mL、0.60 mL、0.80 mL、1.00 mL 和 2.00 mL，各加 5 mL 盐酸溶液。

向试样及标准管中分别加入 2.5 mL 氢氧化钠溶液，1.0 mL 高碘酸钾溶液，0.5 mL 过硫酸钾溶液(23.2.2.3)，用水稀释至 25 mL。摇匀，立即放入沸水浴中，加热 20 min，取出冷却至室温。

于波长 355 nm 处，用 3 cm 比色皿，以水为参比测量吸光度。绘制校准曲线，从曲线上查出试样管中银的质量。

## 23.2.5 分析结果的表述

试样中银含量按式 (34) 计算：

$$\rho(\text{Ag}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (34)$$

式中：

$\rho(\text{Ag})$ ——水样中银的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线查得水样中银的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

## 23.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

## 23.2.7 其他

本方法定量限为 0.005 mg/L。

# 24 锶

## 24.1 EDTA—火焰原子吸收光谱法

### 24.1.1 原理

水样中的锶离子在富燃空气—乙炔火焰中被原子化后，其基态原子吸收来自锶空心阴极灯的共振线 (460.7 nm)，其吸收强度与锶含量成正比。

### 24.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

24.1.2.1 硝酸溶液[ $\psi(\text{HNO}_3)=0.15\%$ ]：吸取 1.5 mL 硝酸 ( $\rho_{20}=1.42$  g/mL)，用水稀释至 1 000 mL。

24.1.2.2 乙二胺四乙酸二钠溶液 (74.4 g/L)：称取 37.2 g 乙二胺四乙酸二钠 [(NaOOCCH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH<sub>2</sub>COOH)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O]和 4.0 g 氢氧化钠(NaOH)，溶于水，稀释至 500 mL。

24.1.2.3 锶标准储备溶液[ $\rho(\text{Sr})=1.00 \text{ mg/mL}$ ]: 准确称取 1.208 g 硝酸锶[ $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ], 溶于硝酸溶液中, 并用硝酸溶液定容至 500 mL, 混匀。

24.1.2.4 锶标准工作溶液[ $\rho(\text{Sr})=10.0 \text{ }\mu\text{g/mL}$ ]: 吸取 1.00 mL 锶标准储备溶液, 用硝酸溶液定容至 100 mL, 混匀。

### 24.1.3 仪器和设备

24.1.3.1 原子吸收光谱仪: 配有锶空心阴极灯。

24.1.3.2 空气压缩机或空气钢瓶气。

24.1.3.3 乙炔钢瓶气。

注: 乙炔易燃。

24.1.3.4 具塞比色管: 10 mL。

### 24.1.4 分析步骤

24.1.4.1 按仪器说明书, 将原子吸收光谱仪调至测锶最佳工作状态。

24.1.4.2 吸取加硝酸保存的水样 10.0 mL, 于具塞比色管中。另吸取锶标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.50 mL、1.00 mL、1.50 mL 和 2.00 mL 于一系列具塞比色管中, 用硝酸溶液定容至 10 mL。此标准系列分别含锶 0  $\mu\text{g}$ 、2.0  $\mu\text{g}$ 、5.0  $\mu\text{g}$ 、10.0  $\mu\text{g}$ 、15.0  $\mu\text{g}$  和 20.0  $\mu\text{g}$ 。向水样及标准系列管中各加 2.0 mL 乙二醇四乙酸二钠溶液, 混匀。

24.1.4.3 依次将标准系列液及样液喷入原子吸收光谱仪火焰中, 测定其吸光度。以质量为横坐标, 吸光度为纵坐标绘制校准曲线。

### 24.1.5 分析结果的表述

试样中锶含量按式 (35) 计算:

$$\rho(\text{Sr}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (35)$$

式中:

$\rho(\text{Sr})$ ——水样中锶的质量浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);

$m$ ——从校准曲线中查得的样液中锶的质量, 单位为微克 ( $\mu\text{g}$ );

$V$ ——水样体积, 单位为毫升 (mL);

1 000——单位换算系数。

### 24.1.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 24.1.7 其他

本方法测锶的定量限为 0.1 mg/L。

## 24.2 高浓度镧—火焰原子吸收光谱法

### 24.2.1 原理

水样中的锶离子在富燃空气-乙炔火焰中被原子化后, 其基态原子吸收锶空心阴极灯发出的共振线 (460.7 nm), 其吸收强度与锶含量成正比。

### 24.2.2 试剂和材料

除非另有规定, 本方法中所用试剂均为分析纯, 水为 GB/T 6682 规定的二级水。

24.2.2.1 盐酸( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ )。

24.2.2.2 硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ )。

24.2.2.3 氯化钾溶液(38 g/L)。

24.2.2.4 氯化钠溶液(50 g/L)。

24.2.2.5 氧化镧溶液: 称取 29 g 氧化镧( $\text{La}_2\text{O}_3$ )于 500 mL 烧杯中, 加少量水湿润, 在不断搅拌下缓缓加

入 250 mL 盐酸，溶解后用水稀释至 500 mL。此液 1.00 mL 含 50 mg 镧。

24.2.2.6 镱标准储备溶液[ $\rho(\text{Sr})=1.00 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 2.415 g 经 105 °C 干燥的硝酸镱[ $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ]，溶于 200 mL 水中，加 2 mL 硝酸，用水定容为 1 000 mL。

24.2.2.7 镱标准工作溶液[ $\rho(\text{Sr})=10.0 \text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：吸取 1.00 mL 镱标准储备溶液，用水定容至 100 mL。

24.2.3 仪器和设备

同 24.1.3。

24.2.4 分析步骤

24.2.4.1 按仪器说明书，将原子吸收光谱仪调至测镱最佳工作状态。

24.2.4.2 吸取加硝酸保存的水样 10.0 mL，于具塞比色管中。另吸取镱标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.20 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL 和 5.00 mL 于 7 支比色管中，加水至 10 mL。此标准系列分别含镱 0  $\mu\text{g}$ 、1.0  $\mu\text{g}$ 、2.0  $\mu\text{g}$ 、5.0  $\mu\text{g}$ 、10.0  $\mu\text{g}$ 、20.0  $\mu\text{g}$ 、50.0  $\mu\text{g}$ 。向水样及标准系列管中各加 0.4 mL 氯化钾溶液、0.4 mL 氯化钠溶液和 0.5 mL 氯化镧溶液，混匀。

24.2.4.5 依次将标准系列及样液喷入火焰，测定其吸光度。以质量为横坐标，吸光度为纵坐标绘制校准曲线。

24.2.5 分析结果的表述

同 24.1.5。

24.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

24.2.7 其他

本方法定量限为 0.01 mg/L。

24.3 火焰原子发射光谱法

24.3.1 原理

利用镱在火焰中易被激发，当被激发的原子返回基态时，以光量子的形式辐射出所吸收的能量，于 460.7 nm 处测量其发射强度，其发射强度与镱含量成正比，可在其他条件不变的情况下，根据测得的发射强度与标准系列比较进行定量。

24.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

24.3.2.1 镱标准储备溶液[ $\rho(\text{Sr})=1.0 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 0.4831 g 硝酸镱[ $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ]，光谱纯]，溶于少量硝酸溶液[ $c(\text{HNO}_3)=0.2 \text{ mol/L}$ ]中，在 200 mL 容量瓶中用蒸馏水定容。

24.3.2.2 镱标准工作溶液[ $\rho(\text{Sr})=5.0 \text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：吸取镱标准储备溶液用蒸馏水逐级稀释为 1 mL 含 5.0  $\mu\text{g}$  镱。

24.3.2.3 氯化钾溶液：准确称取 47.67 g 氯化钾(KCl，优级纯)，用水定容并稀释至 1 000 mL。此液每毫升含 25 mg 钾。

24.3.2.4 氯化钠溶液：准确称取 63.55 g 氯化钠(NaCl，优级纯)，用水溶解并稀释至 1 000 mL，此液每毫升含 25 mg 钠。

24.3.2.5 镧盐溶液：准确称取 2.98 g 高纯氧化镧( $\text{La}_2\text{O}_3$ )，用硝酸溶液(1+1)溶解后，用蒸馏水稀释至 100 mL，此溶液 1 mL 含 25 mg 镧。

24.3.3 仪器和设备

24.3.3.1 火焰原子吸收光谱仪或具发射方式的原子吸收光谱仪。

24.3.3.2 测量条件

a) 波长：460.7 nm。

b) 狭缝：0.2 nm。

c) 燃烧器高度：7.5 mm。

d) 火焰性质：中性火焰。

#### 24.3.4 分析步骤

24.3.4.1 按仪器说明书，将火焰原子吸收光谱仪或原子吸收光谱仪调至测锶最佳工作状态。

24.3.4.2 吸取 20.0 mL 水样于 25 mL 容量瓶中，根据试样中钾、钠含量，补加氯化钾溶液和氯化钠溶液，使试样中分别含有钾 300 mg/L 和钠 1000 mg/L。加入 1 mL 镧盐溶液，用蒸馏水稀释至刻度，充分摇匀。在波长 460.7 nm 处测量发射强度。

24.3.4.3 吸取锶标准工作溶液 0 μg、0.25 μg、0.50 μg、5 μg、10 μg、100.0 μg 于一系列 25 mL 容量瓶中。加 0.3 mL 氯化钾溶液，1 mL 氯化钠溶液，1 mL 镧盐溶液，用蒸馏水稀至刻度，与水样同时测量其发射强度。以质量浓度为横坐标，发射强度为纵坐标绘制校准曲线。

#### 24.3.5 分析结果的表述

试样中锶含量按式 (36) 计算：

$$\rho(\text{Sr}) = \rho_1 \times D \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中：

$\rho(\text{Sr})$ ——水样中锶的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得的试样中锶的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$D$ ——水样稀释倍数。

#### 24.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 24.3.7 其他

本方法定量限为 5 μg/L。

### 25 锂

#### 25.1 火焰原子发射光谱法

##### 25.1.1 原理

利用锂在火焰中极易被激发，当被激发的原子返回基态时，以光量子的形式辐射出所吸收的能量，于 670.8 nm 处测量其发射强度，其发射强度与锂含量成正比，可在其他条件不变的情况下，根据测得的发射强度与标准系列比较进行定量。

##### 25.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

25.1.2.1 硫酸盐-碳酸铵溶液：溶解 5 g 硫酸钠( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )，13 g 硫酸钾( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )和 12 g 碳酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$ 于 100 mL 水中。

25.1.2.2 锂标准储备溶液 $[\rho(\text{Li}^+)=1.00 \text{ mg/mL}]$ ：准确称取 1.2516 g 已在 105℃烘干的无水氯化锂，溶于水中，并用水定容至 200 mL，摇匀。

25.1.2.3 锂标准中间溶液 $[\rho(\text{Li}^+)=0.05 \text{ mg/mL}]$ ：吸取 10.00 mL 锂标准储备溶液，用水定容至 200 mL，摇匀。

25.1.2.4 锂标准工作溶液 $[\rho(\text{Li}^+)=0.005 \text{ mg/mL}]$ ：吸取 10.00 mL 锂标准中间溶液，用水定容至 100 mL，摇匀。

##### 25.1.3 仪器和设备

25.1.3.1 火焰光度计或具备发射测定方式的原子吸收光谱仪。

25.1.3.2 空气压缩机或空气钢瓶气。

25.1.3.3 乙炔钢瓶气。

注：乙炔易燃。

25.1.3.4 比色管：50 mL。

#### 25.1.4 分析步骤

##### 25.1.4.1 试样分析

按仪器说明书，将仪器调整至测锂最佳工作状态。

取水样 50.0 mL，加 5 mL 硫酸盐-碳酸铵溶液，充分摇匀。待沉淀完全下沉后，过滤除去沉淀或取上层清液喷入火焰测量其发射强度(水样中钙、锶、钡含量低时，可能无沉淀生成)。

##### 25.1.4.2 校准曲线的绘制

取一系列 50 mL 比色管，加锂标准工作溶液 0 mL、0.1 mL、0.5 mL、1.0 mL、10.0 mL，用水稀释至 50 mL，配成含锂 0 mg/L、0.01 mg/L、0.05 mg/L、0.10 mg/L、1.00 mg/L 的标准系列。同 25.1.4.1 步骤操作，测量标准系列的发射强度。以质量浓度为横坐标，发射强度为纵坐标绘制校准曲线。

##### 25.1.5 分析结果的表述

试样中锂含量按式 (37) 计算：

$$\rho(\text{Sr}) = \rho_1 \times D \quad \dots\dots\dots (37)$$

式中：

$\rho(\text{Li})$ ——水样中锂的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得的试样中锂的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$D$ ——水样稀释倍数。

##### 25.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

##### 25.1.7 其他

本方法定量限为 0.01 mg/L。

#### 25.2 火焰原子吸收光谱法

##### 25.2.1 原理

本法基于基态原子能吸收来自锂空心阴极灯发出的共振线，且其吸收强度与试样中锂的含量成正比。可在其它条件不变的情况下，根据测得的吸收强度，与标准系列比较进行定量。使用空气-乙炔火焰，在波长 670.8 nm 处，测定其吸收强度。

##### 25.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

25.2.2.1 氯化钾溶液：准确称取 47.67 g 氯化钾(KCl，优级纯)，用水溶解并稀释至 1 000 mL。此液每毫升含 25 mg 钾。

25.2.2.2 氯化钠溶液：准确称取 63.55 g 氯化钠(NaCl，优级纯)，用水溶解并稀释至 1 000 mL，此液每毫升含 25 mg 钠。

25.2.2.3 锂标准储备溶液：同 25.1.2.2。

25.2.2.4 锂标准中间溶液：同 25.1.2.3。

25.2.2.5 锂标准工作溶液：同 25.1.2.4。

##### 25.2.3 仪器和设备

25.2.3.1 原子吸收光谱仪：配有锂空心阴极灯。

25.2.3.2 空气压缩机或空气钢瓶气。

25.2.3.3 乙炔钢瓶气。

注：乙炔易燃。

## 25.2.4 分析步骤

### 25.2.4.1 水样测定

按仪器说明书，将仪器调整至测钾、钠或锂最佳工作状态，首先测定钾、钠离子含量。

取水样 5.00 mL 于 10 mL 容量瓶中，补加氯化钾溶液和氯化钠溶液使样液中钾、钠含量均达到 2 500 mg/L，再用水定容至刻度，摇匀。按常规操作步骤测定锂的吸光度。

### 25.2.4.2 校准曲线的绘制

吸取锂标准工作溶液 0 mL、0.5 mL、1.0 mL、2.0 mL、5.0 mL，添加氯化钾(25.2.2.1)和氯化钠各 5 mL，用水定容至 50 mL，配制成每升含锂 0 mg、0.05 mg、0.10 mg、0.20 mg、0.5 mg 且含钾、钠各 2 500 mg 的标准系列。同 25.2.4.1 步骤操作，测定标准系列的吸光度。以质量浓度为横坐标，吸光度为纵坐标绘制校准曲线。

## 25.2.5 分析结果表述

同 25.1.5。

## 25.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

## 25.2.7 其他

本方法定量限为 0.05 mg/L。

## 25.3 离子色谱法

同 12.3。

## 26 钡

### 26.1 原理

同 17.2.1。

### 26.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

26.2.1 钡标准储备溶液[ $\rho(\text{Ba})=1 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.7788 g 氯化钡( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，含量 99.99%)于 250 mL 烧杯中，加水溶解，加入 10 mL 硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ )，转移至 1 000 mL 容量瓶中，并加水定容。

26.2.2 钡标准中间溶液[ $\rho(\text{Ba})=50 \text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：吸取 5.00 mL 钡标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

26.2.3 钡标准工作溶液[ $\rho(\text{Ba})=1 \text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：吸取 2.00 mL 钡标准中间溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

### 26.3 仪器和设备

26.3.1 石墨炉原子吸收光谱仪。

26.3.2 钡元素空心阴极灯。

26.3.3 氩气钢瓶。

26.3.4 微量加样器：20  $\mu\text{L}$ 。

26.3.5 聚乙烯瓶：100 mL。

### 26.4 分析步骤

26.4.1 吸取钡标准工作溶液 0 mL、2.00 mL、4.00 mL、6.00 mL 和 8.00 mL 于 5 个 100 mL 容量瓶内，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀，分别配制成  $\rho(\text{Ba})=0 \text{ }\mu\text{g/L}$ 、20  $\mu\text{g/L}$ 、40  $\mu\text{g/L}$ 、60  $\mu\text{g/L}$  和 80  $\mu\text{g/L}$  的标准系列。

26.4.2 仪器工作条件设定后依次吸取 20  $\mu\text{L}$  试剂空白[用硝酸溶液（1+99）作为试剂空白]、标准系列和试样，注入石墨管，启动石墨炉控制程序和记录仪，记录吸收峰高或峰面积，以浓度为横座标。峰高或峰面积为纵座标绘制校准曲线，并从曲线上查出试样中钡的质量浓度。

#### 26.4.3 仪器工作条件

参考仪器说明书，将仪器工作条件调整至测钡最佳状态，波长 553.6 nm，石墨炉工作程序见表 12。

表 12 石墨炉工作程序

程序	全热解石墨管	热解涂层石墨管
干燥（1）	90 $^{\circ}\text{C}$ ，20 s	90 $^{\circ}\text{C}$ ，20 s
干燥（2）	120 $^{\circ}\text{C}$ ，10 s	120 $^{\circ}\text{C}$ ，10 s
灰化	700 $^{\circ}\text{C}$ ，20 s	700 $^{\circ}\text{C}$ ，20 s
原子化	2600 $^{\circ}\text{C}$ ，4 s	2100 $^{\circ}\text{C}$ ，40 s
净化	2700 $^{\circ}\text{C}$ ，3 s	2500 $^{\circ}\text{C}$ ，3 s
氩气流量	50 mL/min	50 mL/min
进样量	20 $\mu\text{L}$	20 $\mu\text{L}$

#### 26.5 分析结果的表述

试样中钡含量按式（38）计算：

$$\rho(\text{Ba}) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \dots\dots\dots(38)$$

式中：

$\rho(\text{Ba})$ ——水样中钡的质量浓度，单位为微克每升（ $\mu\text{g/L}$ ）；

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得试样中钡的质量浓度，单位为微克每升（ $\mu\text{g/L}$ ）；

$V_1$ ——水样稀释后的体积，单位为毫升（mL）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）。

#### 26.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 26.7 其他

本方法定量限为 6.18  $\mu\text{g/L}$ 。

### 27 钒

#### 27.1 石墨炉原子吸收光谱法

##### 27.1.1 原理

同 17.2.1。

##### 27.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

27.1.2.1 钒标准储备溶液[ $\rho(\text{V})=1 \text{ mg} / \text{mL}$ ]：准确称取 2.2966 g 偏钒酸铵（ $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ，优级纯），溶于水中，加入 20 mL 硝酸溶液(1+1)，再用水定容至 1 000 mL。

27.1.2.2 钒标准中间溶液[ $\rho(\text{V})=50 \mu\text{g} / \text{mL}$ ]：吸取 5.00 mL 钒标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

27.1.2.3 钒标准工作溶液[ $\rho(\text{V})=1 \mu\text{g}/\text{mL}$ ]：吸取 2.00 mL 钒标准中间溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

### 27.1.3 仪器和设备

27.1.3.1 石墨炉原子吸收光谱仪。

27.1.3.2 钒元素空心阴极灯。

27.1.3.3 氩气钢瓶。

27.1.3.4 微量加样器：20 μL。

27.1.3.5 聚乙烯瓶：100 mL。

### 27.1.4 分析步骤

27.1.4.1 吸取钒标准工作溶液 0 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL 和 4.00 mL 于 5 个 100 mL 容量瓶内，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀，分别配制成  $\rho(V) = 0 \mu\text{g/L}$ 、 $10 \mu\text{g/L}$ 、 $20 \mu\text{g/L}$ 、 $30 \mu\text{g/L}$  和  $40 \mu\text{g/L}$  的标准系列。

27.1.4.2 仪器参数设定后依次吸取 20 μL 试剂空白[硝酸溶液(1+99)作为试剂空白]、标准系列和试样，注入石墨管，启动石墨炉控制程序和记录仪，记录吸收峰值或峰面积。以浓度为横坐标，峰高或峰面积为纵坐标绘制校准曲线，并从曲线上查出试样中钒的质量浓度。

#### 27.1.4.3 仪器工作条件

参考仪器说明书，将仪器工作条件调整至测钒最佳状态，波长 318.3 nm，石墨炉工作程序见表 13。

表 13 石墨炉工作程序

程序	干燥	灰化	原子化	净化
温度/°C	100	1100	2650	2700
斜率/s	2	2	0	1
保持/s	30	20	6	4
氩气流量/(mL/min)	—	300	0	300

### 27.1.5 分析结果的表述

试样中钒含量按式 (39) 计算：

$$\rho(V) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \dots\dots\dots (39)$$

式中：

$\rho(V)$ ——水样中钒的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得试样中钒的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；

$V_1$ ——测定试样稀释后的体积，单位为毫升 (mL)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

### 27.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 27.1.7 其他

本方法定量限为  $6.98 \mu\text{g/L}$ 。

## 27.2 催化极谱法

### 27.2.1 原理

钒在铜铁试剂-六亚甲基四胺-硫酸钠体系中有一极灵敏的催化波。根据在一定范围内其催化电流和钒浓度成正比关系，测定水中微量钒的含量。

### 27.2.2 试剂

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

27.2.2.1 硫酸钠溶液[c (1/2Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = 1.5 mol/L]：称取 322 g 硫酸钠 (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O)，加水溶解后，稀释至 1 000 mL。

27.2.2.2 缓冲溶液：称取 175 g 六亚甲基四胺 $[(\text{CH}_2)_6\text{N}_4]$ ，加水溶解后，加入 63 mL 盐酸（ $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ ），用水稀释至 1 000 mL。

27.2.2.3 铜铁试剂溶液（3 g/L）：称取 3 g 铜铁试剂（亚硝基苯胍胺铵盐， $\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_2\text{N}_3$ ），加水溶解后，稀释至 1 000 mL。

27.2.2.4 干扰抑制剂：称取 5 g 酒石酸钾钠（ $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ）和 2 g 氟化钠（ $\text{NaF}$ ），加水溶解后，稀释至 100 mL。

27.2.2.5 钒标准储备溶液 $[\rho(\text{V})=1 \text{ mg/mL}]$ ：精确称取 0.8926 g 在 105 °C 干燥 2 h 的五氧化二钒（ $\text{V}_2\text{O}_5$ ），加 5 mL 氢氧化钠溶液（100 g/L）溶解后，转入 500 mL 容量瓶中，用水稀释至刻度。

27.2.2.6 钒标准工作溶液 $[\rho(\text{V})=0.01 \mu\text{g/mL}]$ ：吸取 1.00 mL 钒标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，加水约 80 mL，加 5 mL 硫磷混酸，用水稀释至刻度，摇匀。吸取此液 10.0 mL，再用水稀释至 100 mL，此溶液每毫升含钒 1  $\mu\text{g}$ （可 3d 配制一次）。临用前吸取此液 1 mL，再稀释至 100 mL。

27.2.2.7 硫磷混酸（1+1）：称取 2.5 g 过硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$ ，加水溶解后，加热至刚沸，冷却后，加 25 mL 磷酸（ $\rho_{20}=1.70 \text{ g/mL}$ ）。此溶液应现用现配，超过 48 h 则不能使用。

### 27.2.3 仪器和设备

27.2.3.1 示波极谱仪。

27.2.3.2 具塞比色管：25 mL。

### 27.2.4 分析步骤

27.2.4.1 吸取 10.0 mL 水样，置于 25 mL 具塞比色管中（试样管）。另取 7 支 25 mL 具塞比色管（标准管），分别加入钒标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.50 mL、1.00 mL、1.50 mL、2.00 mL 和 3.00 mL，加水至 10 mL。

27.2.4.2 向试样管和标准管各加入 1.0 mL 干扰抑制剂、2.0 mL 硫酸钠溶液、2.0 mL 缓冲溶液和 2.0 mL 铜铁试剂溶液，加水稀释至 25 mL，混匀，放置 30 min 后测定。

27.2.4.3 在预先调整好的示波极谱仪上，用三电极阴极化二阶导数系统于电流倍率 0.025 开始测定标准系列和试样管中钒催化波的峰高（同时记录电流倍率）。以峰高为纵坐标，钒的质量浓度为横坐标，绘制校准曲线。

### 27.2.5 分析结果的表述

试样中钒含量按式（40）计算：

$$\rho(\text{V}) = \frac{m \times V_2 \times 1000}{V_1 \times 1000} \dots\dots\dots (40)$$

式中：

$\rho(\text{V})$ ——水样中钒的质量浓度，单位为毫克每升（ $\text{mg/L}$ ）；

$m$ ——从校准曲线上查得样液中钒的质量浓度，单位为微克每毫升（ $\mu\text{g/mL}$ ）；

$V_2$ ——水样稀释后的体积，单位为毫升（ $\text{mL}$ ）；

$V_1$ ——水样体积，单位为毫升（ $\text{mL}$ ）；

1 000——单位换算系数。

### 27.2.6 精确度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 27.2.7 其他

本方法定量限为 0.2  $\mu\text{g/L}$ 。

## 27.3 没食子酸催化分光光度法

### 27.3.1 原理

在酸性溶液中，微量钒的存在，能使过硫酸铵氧化没食子酸，生成黄至橙色产物，根据被氧化没食子酸的量与钒浓度成正比关系，测定微量钒的含量。

### 27.3.2 试剂和材料

注：除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

27.3.2.1 硝酸汞溶液 (3.5 g/L)：准确称取 0.35 g 硝酸汞 [Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]，加少量水溶解后，加 3 滴硝酸 (ρ<sub>20</sub>=1.42 g/mL)，用水稀释至 100 mL。

27.3.2.2 过硫酸铵磷酸溶液：称取 2.5 g 过硫酸铵 [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>]，加水溶解后，加热至刚沸，冷却后，加 25 mL 磷酸 (ρ<sub>20</sub>=1.70 g/mL)。此溶液须现用现配，超过 48 h 则不能使用。

27.3.2.3 没食子酸溶液 (10 g/L)：称取 1 g 没食子酸 (C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>5</sub>)，加水溶解后，加热至近沸，稀释至 100 mL，趁热过滤，临用前现配。

27.3.2.4 钒标准储备溶液 [ρ(V)=0.1 mg/mL]：准确称取 0.2296 g 偏钒酸铵 (NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>)，加 500 mL 水溶解后，加 15 mL 硝酸溶液 (1+1)，用水稀释至 1 000 mL。

27.3.2.5 钒标准工作溶液 [ρ(V)=0.01 μg/mL]：吸取 10.0 mL 钒标准储备溶液用水稀释至 1 000 mL。再吸取此液 10.0 mL，用水定容至 1 000 mL，临用前现配。

### 27.3.3 仪器和设备

27.3.3.1 分光光度计；

27.3.3.2 恒温水浴：控温精度 ±0.1 °C。

27.3.3.3 具塞比色管：25 mL。

### 27.3.4 分析步骤

吸取 10.0 mL 水样，置于 25 mL 具塞比色管中 (试样管)。另取 7 支 25 mL 具塞比色管 (标准管)，分别加入钒标准工作溶液 0 mL、1.00 mL、2.00 mL、4.00 mL、6.00 mL、8.00 mL 和 10.00 mL，加水至 10 mL。

向试样管和标准管各加入 1.0 mL 硝酸汞溶液，混匀，置于 (25±0.1) °C 水浴中，从水样温度达到 (25±0.1) °C 时开始计时，准确恒温 30 min。

将过硫酸铵磷酸溶液置于水浴中，使溶液温度达到 (25±0.1) °C，向各管加入 1.0 mL，加塞混匀后，放回水浴中。

将没食子酸溶液置于水浴中，使溶液温度达到 (25±0.1) °C，按顺序每隔 1 min 向各管加入 1.0 mL，加塞混匀后，放回水浴中。从加入没食子酸溶液算起，准确恒温 30 min。

于波长 415 nm 处，用 4 cm 比色皿，以试剂空白做参比，测定样液和标准系列的吸光度。以吸光度对钒质量绘制校准曲线，从校准曲线上查出样液中钒的质量。

### 27.3.5 分析结果的表述

试样中钒含量按式 (41) 计算：

$$\rho(V) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (41)$$

式中：

ρ(V)——水样中钒的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

m——从校准曲线上查得的样液钒质量，单位为微毫 (μg)；

V——水样体积，单位为毫升 (mL)。

1 000——单位换算系数。

### 27.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 27.3.7 其他

本方法定量限为 0.001 mg/L。

## 28 锑

## 28.1 氢化物发生原子荧光光谱法

## 28.1.1 原理

在酸性条件下，以硼氢化钠为还原剂使锑生成锑化氢，由载气带入原子化器原子化，受热分解为原子态锑，基态锑原子在特制锑空心阴极灯的激发下产生原子荧光，其荧光强度与锑含量成正比。

## 28.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

28.1.2.1 氢氧化钠溶液（2 g/L）：称取 1 g 氢氧化钠（NaOH）溶于水中，稀释至 500 mL。

28.1.2.2 硼氢化钠溶液（20 g/L）：称取 10.0 g 硼氢化钠（NaBH<sub>4</sub>），溶于 500 mL 氢氧化钠溶液中，混匀。

28.1.2.3 盐酸（ρ<sub>20</sub>=1.19 g/mL），优级纯。

28.1.2.4 载流[盐酸溶液（φ=5%）]：取 28 mL 浓盐酸，用水稀释至 500 mL。

28.1.2.5 硫脲-抗坏血酸溶液：称取 12.5 g 硫脲[(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CS]加约 80 mL 水，加热溶解，冷却后加入 12.5 g 抗坏血酸（C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>），稀释至 100 mL。

28.1.2.6 锑标准储备溶液[ρ(Sb)=1.0 mg/mL]：准确称取 0.5000 g 锑（光谱纯）于 100 mL 烧杯中，加 10 mL 盐酸和 5 g 酒石酸（C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>6</sub>），在水浴中温热使锑完全溶解，放冷后，转入 500 mL 容量瓶中，用水定容至刻度，摇匀备用。

28.1.2.7 锑标准中间溶液[ρ(Sb)=10.0 μg/mL]：吸取 10.0 mL 锑标准储备溶液于 1 000 mL 容量瓶中，加 3 mL 盐酸，用水定容。

28.1.2.8 锑标准工作溶液[ρ(Sb)=0.10 μg/mL]：吸取 5.0 mL 锑标准中间溶液于 500 mL 容量瓶中，用水定容。

## 28.1.3 仪器和设备

28.1.3.1 原子荧光光谱仪。

28.1.3.2 锑特种空心阴极灯。

## 28.1.4 分析步骤

## 28.1.4.1 仪器工作条件

参考仪器说明书将仪器工作条件调整至测锑最佳状态，原子荧光工作条件见表 14。

表 14 原子荧光工作条件

项目	条件
灯电流/mA	75
光电倍增管负高压/V	310
原子化器高度/mm	8.5
载气流量/mL/min	500
屏蔽气流量/mL/min	1000

## 28.1.4.2 试样测定

吸取 10.0 mL 水样于 1 支比色管中。另分别吸取锑标准工作溶液 0 mL、0.05 mL、0.10 mL、0.30 mL、0.50 mL、0.70 mL、1.00 mL 于 7 支比色管中，用水定容至 10 mL。

分别向水样和标准系列管中加入 1.0 mL 硫脲—抗坏血酸溶液，1.0 mL 盐酸，混匀，以硼氢化钠溶液为还原剂，上机测定，记录荧光强度值，绘制校准曲线，从校准曲线上查出水样中锑的质量。

## 28.1.5 分析结果的表述

试样中锑含量按式（42）计算：

$$\rho(\text{Sb}) = \frac{m \times 1000}{V} \dots\dots\dots (42)$$

式中：

$\rho(\text{Sb})$ ——水样中锑的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；

$m$ ——从校准曲线上查得试样中锑的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 ( $\text{mL}$ )。

### 28.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 28.1.7 其他

本方法定量限为  $0.078 \mu\text{g/L}$ 。

## 28.2 氢化物发生原子吸收光谱法

### 28.2.1 原理

硼氢化钠与酸反应生成新生态氢，在碘化钾和硫脲存在下，五价锑还原为三价锑，三价锑与新生态氢生成锑化氢气体，以氮气为载气，在石英炉中  $930 \text{ }^\circ\text{C}$  原子化， $217.6 \text{ nm}$  波长测锑的吸光度。

### 28.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

28.2.2.1 还原溶液：称取  $10 \text{ g}$  优级纯碘化钾(KI)和  $2 \text{ g}$  分析纯硫脲( $\text{N}_2\text{H}_4\text{CS}$ )，溶于水中，并稀释至  $100 \text{ mL}$ ，储于棕色瓶中。

28.2.2.2 盐酸 ( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ )，优级纯。

28.2.2.3 硼氢化钠溶液 ( $20 \text{ g/L}$ )：称取  $2 \text{ g}$  硼氢化钠 ( $\text{NaBH}_4$ )，加  $0.2 \text{ g}$  氢氧化钠 ( $\text{NaOH}$ ，优级纯)，用水溶解后，稀释至  $100 \text{ mL}$ ，必要时过滤，临用时配制。

28.2.2.4 锑标准储备溶液 [ $\rho(\text{Sb})=1 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取  $0.5000 \text{ g}$  锑 (光谱纯) 于  $100 \text{ mL}$  烧杯中，加  $10 \text{ mL}$  盐酸 ( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ ) 和  $5 \text{ g}$  酒石酸 ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ )，在水浴中温热使锑完全溶解，放冷后，转入  $500 \text{ mL}$  容量瓶中用水定容，摇匀。

28.2.2.5 锑标准工作溶液 [ $\rho(\text{Sb})=0.1 \mu\text{g/mL}$ ]：吸取  $5.00 \text{ mL}$  锑标准储备溶液于  $500 \text{ mL}$  容量瓶中，加水定容至  $500 \text{ mL}$ 。按上法将所配成的标准溶液再稀释 100 倍。

### 28.2.3 仪器和设备

原子吸收光谱仪：附氢化物发生器。

### 28.2.4 分析步骤

28.2.4.1 根据仪器说明书，将主机测定条件(灯电流、波长等)调至最佳状态，然后将氢化物发生器安装好，调节燃烧器至石英炉处于最佳位置固定，将原子化温度调至  $930 \text{ }^\circ\text{C}$ ，氮气流量调至  $1000 \text{ mL/min}$ ，用水清洗反应瓶，关闭反应器上的活塞 1 和 2(见图 1)即可进行试样测定。

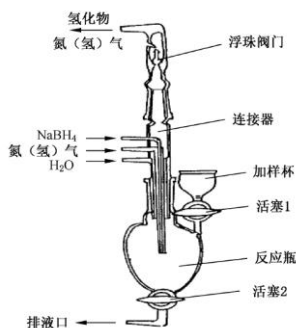


图 1 反应器示意图

### 28.2.4.2 水样测定

28.2.4.2.1 取  $28.0 \text{ mL}$  水样[如水样含锑量低于  $0.28 \mu\text{g/L}$  时，可取适量水样加  $1 \text{ mL}$  盐酸溶液(1+1)浓缩 2

倍~5倍],置于28 mL比色管中,加入1.0 mL还原溶液,0.5 mL盐酸,摇匀,放置30min。

28.2.4.2.2 打开反应器活塞1,将试样转移到反应瓶中,关闭活塞1,用自动加液器加入3 mL硼氢化钠溶液。

28.2.4.2.3 以氮气流量1 000 mL/min,原子化温度为930 °C,光谱通带为0.4 nm,波长217.6 nm,测定锑的吸光度或用记录仪记录峰值。

28.2.4.2.4 打开反应器上活塞1和2把废液排除,用水清洗反应瓶,并关闭活塞1和2。

#### 28.2.4.3 校准曲线的制备

取6个28 mL比色管,分别加入锑标准工作溶液0 mL、0.28 mL、0.50 mL、1.00 mL、1.50 mL和2.50 mL,加入水至28.0 mL,摇匀。按28.2.4.2测定锑的吸光度。绘制校准曲线,由校准曲线上查出水样中锑的质量。

### 28.2.5 分析结果的表述

试样中锑含量按式(43)计算:

$$\rho(\text{Sb}) = \frac{m \times 1000}{V} \quad \dots\dots\dots (43)$$

式中:

$\rho(\text{Sb})$ ——水样中锑的质量浓度,单位为微克每升( $\mu\text{g}/\text{L}$ );

$m$ ——从校准曲线上查得试样中锑的质量,单位为微克( $\mu\text{g}$ );

$V$ ——水样体积,单位为毫升( $\text{mL}$ );

1000——毫升到升的换算系数。

#### 28.1.6 精密度

在重复性条件下,获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的10%。

#### 28.2.7 其他

本方法定量限为0.28  $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

## 29 钴

### 29.1 亚硝基-R分光光度法

#### 29.1.1 原理

在中性或微碱性介质中,钴和亚硝基-R盐反应,生成稳定的红色络合物,其吸光度与钴离子含量在一定浓度范围内成正比。

#### 29.1.2 试剂和材料

除非另有规定,本方法中所用试剂均为分析纯,水为GB/T 6682规定的三级水。

29.1.2.1 硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g}/\text{mL}$ ): (1+1)

29.1.2.2 柠檬酸溶液[ $c(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7)=0.2 \text{ mol}/\text{L}$ ]:称取4.2 g柠檬酸( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ),加水溶解后,稀释至100 mL。

29.1.2.3 缓冲溶液:称取35.6 g磷酸氢二钠( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )和6.2 g硼酸( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ),用500 mL氢氧化钠溶液[ $c(\text{NaOH})=1 \text{ mol}/\text{L}$ ]溶解后,用水稀释至1 000 mL。

29.1.2.4 亚硝基-R盐溶液(2g/L):准确称取0.20 g亚硝基-R盐{1-亚硝基-2-萘酚-3,6-二磺酸二钠,[ $\text{NOC}_{10}\text{H}_4\text{OH}(\text{SO}_3\text{Na})_2$ ]},加水溶解后,稀释至100 mL,贮于棕色瓶中。

29.1.2.5 钴的标准储备溶液[ $\rho(\text{Co})=1 \text{ 000 } \mu\text{g}/\text{mL}$ ]:准确称取1.0000 g金属钴( $\omega>99.9\%$ ),置于250 mL烧杯中,加30 mL硝酸溶液,盖上表面皿,加热溶解。冷却到室温后,移入1 000 mL容量瓶中,用水定容。

29.1.2.6 钴标准工作溶液[ $\rho(\text{Co})=1.0 \mu\text{g}/\text{mL}$ ]:吸取10.00 mL钴标准储备溶液于100 mL容量瓶中,用水定容,摇匀。再用吸取此溶液10.00 mL于1 000 mL容量瓶中,用水定容,摇匀。

### 29.1.3 仪器和设备

29.1.3.1 分光光度计。

29.1.3.2 容量瓶：50 mL。

### 29.1.4 分析步骤

29.1.4.1 吸取适量水样（含钴量小于 20 μg）于 50 mL 烧杯中，加 2 mL 柠檬酸溶液，2.4 mL 缓冲溶液，补加水至 20 mL，摇匀。另吸取钴标准工作溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、5.00 mL、8.00 mL、12.0 mL、16.0 mL、20.0 mL 于一系列 50 mL 烧杯中，补加水至 20 mL，摇匀。

29.1.4.2 向烧杯中各加 0.50 mL 亚硝基-R 盐溶液，摇匀，加热至沸，1 min 后加 2.0 mL 硝酸，再加热沸腾 1 min，冷却至室温，将溶液分别移入 50 mL 容量瓶中，用水定容。

29.1.4.3 用试剂空白做参比，于波长 425 nm 处测定吸光度。以标液中的钴质量为横坐标，吸光度为纵坐标绘制校准曲线。从校准曲线上查出试样溶液中钴的质量。

### 29.1.5 分析结果的表述

试样中钴含量按式（44）计算：

$$\rho(\text{Co}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (44)$$

式中：

$\rho(\text{Co})$ ——水样中钴的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$m$ ——从校准曲线上查得的样液钴质量，单位为微克（μg）；

$V$ ——水样的体积，单位为毫升（mL）。

1 000——单位换算系数。

### 29.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 29.1.7 其他

本方法定量限为 0.025 mg/L。

## 29.2 火焰原子吸收光谱法

### 29.2.1 原理

本方法基于水样中钴的基态原子能吸收来自钴空心阴极灯发出的共振线，其吸收强度与钴元素含量成正比，可在其它条件不变的情况下，根据测得的吸收强度与标准系列比较进行定量。

水样中钴离子含量高时，可将水样直接导入火焰使其原子化后，采用其灵敏共振线 240.7 nm 进行测定，其最低检测浓度为 0.5 mg/L。水样中钴离子含量低时，则需要采用离子交换富集后，再用火焰原子吸收法进行测定，其最低检测浓度为 0.05 mg/L。

### 29.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

29.2.2.1 氨水[c(NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O)=1 mol/L]：吸取 35 mL 氨水（NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O），用水稀释至 1 000 mL。

29.2.2.2 缓冲溶液（pH=6.0）：称取 60.05 g 乙酸(CH<sub>3</sub>COOH)和 77.08 g 乙酸铵(CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>)，用水溶解，并稀释到 1 000 mL，再用氨水调节为 pH=6.0。

29.2.2.3 硝酸（1+1）。

29.2.2.4 硝酸溶液[c(HNO<sub>3</sub>)=2 mol/L]：吸取 25 mL 浓硝酸(ρ<sub>20</sub>=1.42 mg/L)，用水稀释至 200 mL。

29.2.2.5 螯合树脂：将 D401 大孔苯乙烯(系螯合型树脂)用硝酸溶液浸泡 2 d，然后用水充分漂洗至 pH=6.0，倾除过细微粒，浸泡在水中备用。

29.2.2.6 钴标准储备溶液[ρ(Co)=1 mg/mL]：准确称取 1.0000 g 金属钴，加入 10 mL 硝酸溶液溶解后，加

热赶除二氧化碳，用水定容至 1 000 mL，摇匀，备用。

### 29.2.3 仪器和设备

29.2.3.1 离子交换柱：用水将已处理好的树脂倾装入内径 2 cm，高 10 cm 的玻璃交换柱中，树脂高度为 4 cm，树脂层的下部和上部均填有玻璃棉，以防树脂漏掉和被冲动，树脂床中不可存有气泡。

29.2.3.2 原子吸收光谱仪：配有钴空心阴极灯。

29.2.3.3 空气压缩机或空气钢瓶。

29.2.3.4 乙炔钢瓶。

### 29.2.4 分析步骤

#### 29.2.4.1 高含量水样分析

参考仪器说明书，将仪器工作条件调整至测钴最佳状态，波长 240.7 nm。

用每升含 1.5 mL 硝酸的水将钴标准储备溶液稀释并配成[ $\rho(\text{Co})=0.5\text{ mg/L}\sim 1.0\text{ mg/L}$ ]的钴标准系列溶液。将标准系列溶液与空白溶液交替喷入火焰，测定其吸光度。以钴的标准质量浓度 (mg/L) 为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制出校准曲线或计算出回归方程。

将试样喷入火焰，测定其吸光度，在校准曲线或回归方程中查出钴的质量浓度 (mg/L)。

#### 29.2.4.2 低含量水样分析

取水样 250 mL 于 500 mL 烧杯中，用氨水调节 pH=6.0，加 25 mL 缓冲溶液，混匀。将样液分次倒入离子交换柱内，以 3 mL/min 的流速进行离子交换。样液流完后，用 30 mL 缓冲液以同样流速进行淋洗。用约 27 mL 硝酸溶液以同样流速进行洗脱，弃去最初的约 3 mL，用 25 mL 容量瓶收集洗脱液至刻度，摇匀。

测定步骤同 29.2.4.1。

#### 29.2.4.3 树脂的再生

将用过的树脂收集在一个烧杯中，先用水漂洗，滤干后，泡在硝酸溶液中 24 h 后，再用水漂洗至 pH=6 左右，浸泡在水中备用。

### 29.2.5 分析结果的表述

#### 29.2.5.1 高含量水样

从校准曲线中直接查出水样中钴的质量浓度  $\rho(\text{Co})$ , mg/L。

#### 29.2.5.2 低含量水样

试样中钴含量按式 (45) 计算：

$$\rho(\text{Co}) = \rho_1 \times \frac{25}{V} \quad \dots\dots\dots (45)$$

式中：

$\rho(\text{Co})$ ——水样中钴的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1$ ——从校准曲线查得的钴的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

25——富集后的水样体积，单位为毫升 (mL)；

V——水样体积，单位为毫升 (mL)。

#### 29.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 29.2.7 其他

本方法的定量限为 0.50 mg/L (直接导入火焰法) 和 0.05 mg/L (离子交换富集法)。

## 29.3 石墨炉原子吸收光谱法

### 29.3.1 原理

同 17.2.1。

### 29.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

29.3.2.1 钴标准储备溶液[ $\rho(\text{Co})=1 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.0000 g 金属钴(高纯或光谱纯)，溶于 10 mL 硝酸溶液(1+1)中，加热驱除二氧化碳，用水定容至 1 000 mL。

29.3.2.2 钴标准中间溶液[ $\rho(\text{Co})=50 \text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：吸取 5.00 mL 钴标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

29.3.2.3 钴标准工作溶液[ $\rho(\text{Co})=1 \text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：吸取 2.00 mL 钴标准中间溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

29.3.2.4 硝酸镁溶液(50g/L)：称取 5 g 硝酸镁[ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ]，优级纯]，加水溶解并定容至 100 mL。

### 29.3.3 仪器和设备

29.3.3.1 石墨炉原子吸收光谱仪。

29.3.3.2 钴元素空心阴极灯。

29.3.3.3 氩气钢瓶。

29.3.3.4 微量加样器：20  $\mu\text{L}$ 。

29.3.3.5 聚乙烯瓶：100 mL。

### 29.3.4 分析步骤

29.3.4.1 吸取钴标准工作溶液 0 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.0 mL 和 4.00 mL 于 5 个 100 mL 容量瓶内，分别加入 1.0 mL 硝酸镁溶液，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀，分别配制成  $\rho(\text{Co})=0 \text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $10 \text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $20 \text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $30 \text{ }\mu\text{g/L}$  和  $40 \text{ }\mu\text{g/L}$  的标准系列。

29.3.4.2 吸取 10.0 mL 水样，加入 0.1 mL 硝酸镁溶液，同时取 10 mL 硝酸溶液(1+99)，加入 0.1 mL 硝酸镁溶液，作为试剂空白。

29.3.4.3 仪器工作条件设定后依次吸取 20  $\mu\text{L}$  试剂空白，标准系列和样液，注入石墨管，启动石墨炉控制程序和记录仪，记录吸收峰高或峰面积。以浓度为横坐标，峰高或峰面积为纵坐标绘制校准曲线，并从曲线上查出试样中钴的质量浓度。

每测定 10 个试样之间，加测一个内控试样或相当于校准曲线中等浓度的标准溶液。

#### 29.3.4.4 仪器工作条件

参考仪器说明书，将仪器工作条件调整至测钴最佳状态，波长 240.7 nm，石墨炉工作程序见表 15。

表 15 石墨炉工作程序

程序	干燥	灰化	原子化	净化
温度/ $^{\circ}\text{C}$	120	1400	2400	2700
斜率/s	2	2	0	1
保持/s	30	30	5	4
氩气流量/(mL/min)	—	300	0	300

### 29.3.5 分析结果的表述

试样中钴含量按式(46)计算：

$$\rho(\text{Co}) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \dots\dots\dots (46)$$

式中：

$\rho(\text{Co})$ ——试样中钴的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得试样中钴的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；

$V_1$ ——测定试样的体积，单位为毫升 (mL)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

### 29.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 29.3.7 其他

本方法定量限为 1.91  $\mu\text{g/L}$ 。

## 30 镍

### 30.1 火焰原子吸收光谱法

#### 30.1.1 原理

本方法基于试样中镍的基态原子能吸收来自镍空心阴极灯发出的共振线，其吸收强度与镍元素含量成正比，可在其他条件不变的情况下，根据测得的吸收强度与标准系列比较进行定量。

水样中镍离子含量高时，可将水样直接导入火焰使其原子化后，采用其灵敏共振线 232.0 nm 进行测定，其定量限为 0.30 mg/L。水样中镍离子含量低时，则需要采用离子交换富集后，再用火焰原子吸收法进行测定，其定量限为 0.03 mg/L。

#### 30.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

30.1.2.1 氨水 $[\text{c}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})=1 \text{ mol/L}]$ ：吸取 35 mL 氨水 ( $\rho_{20}=0.88 \text{ g/mL}$ )，用水稀释至 1 000 mL。

30.1.2.2 缓冲溶液 (pH=6.0)：准确称取 60.05 g 乙酸( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )和 77.08 g 乙酸铵( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ )，用水溶解，并稀释到 1 000 mL，再用氨水，调节为 pH=6.0。

30.1.2.3 硝酸溶液 (1+1)。

30.1.2.4 硝酸溶液 $[\text{c}(\text{HNO}_3)=2 \text{ mol/L}]$ ：吸取 25 mL 浓硝酸 ( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ )，用水稀释至 200 mL。

30.1.2.5 螯合树脂：将 D401 大孔苯乙烯(系螯合型树脂)用硝酸溶液浸泡 2 d，然后用水充分漂洗至 pH=6.0，倾除过细微粒，浸泡在水中备用。

30.1.2.6 镍标准储备溶液 $[\rho(\text{Ni})=1 \text{ mg/mL}]$ ：准确称取 1.0000 g 金属镍，加入 10 mL 硝酸溶解后，加热赶除二氧化碳，用水定容至 1 000 mL，摇匀，备用。

#### 30.1.3 仪器和设备

30.1.3.1 离子交换柱：用水将已处理好的树脂(30.1.2.5)倾装入内径 2 cm，高 10 cm 的玻璃交换柱中，树脂高度为 4 cm，树脂层的下部和上部均填有玻璃棉，以防树脂漏掉和被冲动，树脂床中不可存有气泡。

30.1.3.2 原子吸收光谱仪：配有镍空心阴极灯。

30.1.3.3 空气压缩机或空气钢瓶。

30.1.3.4 乙炔钢瓶。

#### 30.1.4 分析步骤

##### 30.1.4.1 高含量试样测定

按照仪器说明书将仪器工作条件调整至测定镍的最佳状态，选择灵敏吸收线 232.0 nm。

用每升含 1.5 mL 硝酸的水将镍标准储备溶液稀释并配成 $[\rho(\text{Ni})=0.3 \text{ mg/L} \sim 10.0 \text{ mg/L}]$ 的镍标准系列溶液。将标准系列溶液与空白溶液交替喷入火焰，测定其吸光度。以镍的标准质量浓度 (mg/L) 为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制出校准曲线或计算出回归方程。将试样喷入火焰，测定其吸光度，在校准曲线或回归方程中查出其镍的质量浓度 (mg/L)。

##### 30.1.4.2 低含量试样测定

取水样 250 mL 于 500 mL 烧杯中，用氨水调节 pH=6.0，加 25 mL 缓冲溶液(30.1.2.2)，混匀。将样液分次倒入离子交换柱内，以 3 mL/min 的流速进行离子交换。样液流完后，用 30 mL 缓冲液以同样流速进行淋洗。用约 27 mL 硝酸溶液以同样流速进行洗脱，弃去最初的约 3 mL，用 25 mL 容量瓶收集洗脱液至刻度，摇匀。

测定步骤同 30.1.4.1 进行。

### 30.1.4.3 树脂的再生

将用过的树脂收集在一个烧杯中，先用水漂洗，滤干后，泡在硝酸溶液中 24 h 后，再用水漂洗至 pH=6 左右，浸泡在水中备用。

### 30.1.5 分析结果的表述

#### 30.1.5.1 高含量水样

从校准曲线中直接查出水样中镍的质量浓度  $\rho(\text{Ni})$ , mg/L。

#### 30.1.5.2 低含量水样

试样中镍含量按式 (47) 计算：

$$\rho(\text{Ni}) = \rho_1 \times \frac{25}{V} \quad \dots\dots\dots (47)$$

式中：

$\rho(\text{Ni})$  ——水样中镍的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1$  ——从校准曲线查得的镍的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

25 ——富集后的水样体积，单位为毫升 (mL)；

$V$  ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

#### 30.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 30.1.7 其他

本方法的定量限为 0.30 mg/L (直接导入火焰法) 或 0.03 mg/L (离子交换富集法)。

## 30.2 石墨炉原子吸收光谱法

### 30.2.1 原理

同 17.2.1。

### 30.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

30.2.2.1 镍标准储备溶液 [ $\rho(\text{Ni})=1 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.0000 g 金属镍(高纯或光谱纯)，溶于 10 mL 硝酸溶液(1+1)中，加热驱除二氧化碳，用水定容至 1 000 mL。

30.2.2.2 镍标准中间溶液 [ $\rho(\text{Ni})=50 \text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：吸取 5.00 mL 镍标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

30.2.2.3 镍标准工作溶液 [ $\rho(\text{Ni})=1 \text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：吸取 2.00 mL 镍标准中间溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀。

30.2.2.4 硝酸镁溶液(50 g/L)：称取 5 g 硝酸镁 [ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ]，优级纯，加水溶解并定容至 100 mL。

### 30.2.3 仪器和设备

30.2.3.1 石墨炉原子吸收光谱仪。

30.2.3.2 镍元素空心阴极灯。

30.2.3.3 氩气钢瓶。

30.2.3.4 微量加样器：20  $\mu\text{L}$ 。

30.2.3.5 聚乙烯瓶：100 mL。

### 30.2.4 分析步骤

吸取镍标准工作溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL 和 3.00 mL 于 5 个 100 mL 容量瓶内，分别加入 1.0 mL 硝酸镁溶液，用硝酸溶液(1+99)稀释至刻度，摇匀，分别配制成  $\rho(\text{Ni})=0 \text{ }\mu\text{g/L}$ 、5  $\mu\text{g/L}$ 、10  $\mu\text{g/L}$ 、20  $\mu\text{g/L}$  和 30  $\mu\text{g/L}$  的标准系列。

另吸取 10.0mL 水样，加入 0.1 mL 硝酸镁溶液，同时取 10 mL 硝酸溶液(1+99)，加入 0.1 mL 硝酸镁溶液，作为试剂空白。

仪器工作条件设定后依次吸取 20  $\mu$ L 试剂空白，标准系列和试样，注入石墨管，启动石墨炉控制程序和记录仪，记录吸收峰高或峰面积，以浓度为横座标，峰高或峰面积为纵座标绘制校准曲线，并从曲线上查出试样中镍的质量浓度。

### 30.2.5 仪器工作条件：

参考仪器说明书，将仪器工作条件调整至测镍最佳状态，波长 232.0nm，石墨炉工作程序见表 16。

表 16 石墨炉工作程序

程序	干燥	灰化	原子化	净化
温度/ $^{\circ}$ C	120	1400	2400	2700
斜率/s	2	2	0	1
保持/s	30	30	5	4
氩气流量/(mL/min)	—	300	0	300

### 30.2.6 分析结果的表述

试样中镍含量按式 (48) 计算：

$$\rho(\text{Ni}) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \dots\dots\dots (48)$$

式中：

$\rho(\text{Ni})$ ——水样中镍的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得的试样中镍的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；

$V_1$ ——测定试样的体积，单位为毫升 (mL)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

### 30.2.7 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 30.2.8 其他

本方法定量限为 2.48  $\mu\text{g/L}$ 。

## 31 铝

### 31.1 铬天青 S 分光光度法

#### 31.1.1 原理

在 pH=6.7~7.0 范围内，铝在聚乙二醇辛基苯醚(OP)和溴代十六烷基吡啶(CPB)的存在下与铬天青 S 反应生成蓝色的四元体系混合胶束，比色定量。

#### 31.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

31.1.2.1 铬天青 S 溶液(1 g/L)：称取 0.1 g 铬天青 S( $\text{C}_{23}\text{H}_{13}\text{C}_{12}\text{Na}_3\text{O}_9\text{S}$ )溶于 100 mL 乙醇溶液(1+1)中，混匀。

31.1.2.2 乳化剂 OP 溶液(3+100)：吸取 3.0 mL 乳化剂 OP(聚乙二醇辛基苯基醚， $\text{C}_{34}\text{H}_{62}\text{O}_{11}$ )溶于 100 mL 水中。

31.1.2.3 溴代十六烷基吡啶 [简称 CPB，3 g/L]：称取 0.6 g CPB( $\text{C}_{21}\text{H}_{36}\text{BrN}$ )溶于 30 mL 乙醇 [ $\rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ ]中，加水稀释至 200 mL。

31.1.2.4 乙二胺-盐酸缓冲液(pH=6.7~7.0)：量取 100mL 无水乙二胺( $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2$ )，加 200 mL 水，冷却后缓缓

加入 190 mL 盐酸( $\rho_{20}=1.19$  g/mL), 搅匀, 用酸度计调节 pH 为 6.7~7.0, 若 pH>7, 则慢慢滴加盐酸; 若 pH<6.7, 可补加乙二胺溶液(1+2)。

31.1.2.5 氨水(1+6)。

31.1.2.6 硝酸溶液[c(HNO<sub>3</sub>)=0.5 mol/L]。

31.1.2.7 铝标准储备溶液[ $\rho(\text{Al})=1$  mg/mL]: 准确称取 8.792 g 硫酸铝钾[KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O], 溶于水中, 定容至 500 mL。

31.1.2.8 铝标准工作溶液[ $\rho(\text{Al})=1$   $\mu\text{g/mL}$ ]: 临用时将标准储备溶液逐级稀释而成。

31.1.2.9 对硝基酚乙醇溶液(1.0 g/L): 准确称取 0.1 g 对硝基酚(NO<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>OH), 溶于 100 mL 乙醇[ $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ ]中。

### 31.1.3 仪器和设备

31.1.3.1 具塞比色管: 50 mL。

31.1.3.2 酸度计。

31.1.3.3 分光光度计。

### 31.1.4 分析步骤

吸取水样 25.0 mL 于 50 mL 具塞比色管中。另取 50 mL 比色管 8 支, 分别加入铝标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL 和 5.00 mL, 加水至 25 mL。向各管滴加 1 滴对硝基酚乙醇溶液, 混匀, 滴加氨水至浅黄色, 加硝酸溶液至黄色消失, 再多加 2 滴。

各加入 1.0 mL 铬天青 S 溶液, 混匀后依次加入 1.0 mL 乳化剂 OP 溶液, 2.0 mL CPB 溶液, 3.0 mL 缓冲液, 加水稀释至 50 mL, 混匀, 放置 30 min。

于波长 620 nm 处, 用 2 cm 比色皿, 以试剂空白为参比, 测定吸光度。绘制校准曲线, 从曲线上查出水样管中铝的质量。

注: 水中含有铜或锰时, 可加抗坏血酸以消除其干扰。水中含铁时, 可加巯基乙醇酸来消除其干扰。

### 31.1.5 分析结果的表述

试样中铝含量按式(49)计算:

$$\rho(\text{Al}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (49)$$

式中:

- $\rho(\text{Al})$ ——水样中铝的质量浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);
- $m$ ——从校准曲线查得水样管中铝的质量, 单位为微克 ( $\mu\text{g}$ );
- $V$ ——水样体积, 单位为毫升 (mL);
- 1 000——单位换算系数。

### 31.1.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 31.1.7 其他

本方法定量限为 0.008 mg/L。

## 31.2 铝试剂分光光度法

### 31.2.1 原理

在中性或酸性介质中, 铝试剂与铝反应生成红色络合物, 其吸光度与铝的含量在一定浓度范围内成正比。pH=4 时, 显色络合物最稳定, 加入胶体物质亦可延长颜色稳定时间。

### 31.2.2 试剂

除非另有规定, 本方法中所用试剂均为分析纯, 水为 GB/T 6682 规定的三级水。

31.2.2.1 氨水溶液[c(NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O)=0.1 mol/L]: 吸取 1 mL 氨水 ( $\rho_{20}=0.90$  g/mL), 用水稀释至 150 mL。

31.2.2.2 盐酸溶液[ $c(\text{HCl})=0.1 \text{ mol/L}$ ]: 吸取 1 mL 盐酸 ( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ ), 用水稀释至 120 mL。

31.2.2.3 抗坏血酸溶液 (50 g/L): 称取 5.0 g 抗坏血酸 ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ), 溶于水中 (不可加热), 稀释至 100 mL。用时现配。

31.2.2.4 铝试剂溶液 (0.5 g/L): 准确称取 0.25 g 铝试剂金精羧酸铵 ( $\text{C}_{22}\text{H}_{23}\text{N}_3\text{O}_9$ ) 和 5.0 g 阿拉伯胶, 加 250 mL 水, 温热至溶解, 加入 66.7 g 乙酸铵 ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ), 溶解后, 加 63.0 mL 盐酸 ( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ ), 稀释至 500 mL。必要时过滤。贮于棕色瓶中, 暗处保存, 可稳定 6 个月。

31.2.2.5 铝标准储备溶液 [ $\rho(\text{Al})=0.1 \text{ mg/mL}$ ]: 称取 1.759 g 硫酸铝钾[优级纯,  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ], 溶于水中, 加 10 mL 硫酸溶液 (1+3), 移入 1 000 mL 容量瓶中, 用水定容。

31.2.2.6 铝标准工作溶液 [ $\rho(\text{Al})=1 \mu\text{g/mL}$ ]: 吸取 10.00 mL 铝标准储备溶液于 1 000 mL 容量瓶中, 用水定容。

31.2.2.7 对硝基酚指示剂 (1 g/L): 称取 0.10 g 对硝基酚 ( $\text{NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ ), 溶于水中, 稀释至 100 mL。

### 31.2.3 仪器和设备

31.2.3.1 分光光度计。

31.2.3.2 具塞比色管: 50 mL。

### 31.2.4 分析步骤

吸取铝标准工作溶液 (31.2.2.6) 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、4.00 mL、6.00 mL、8.00 mL、10.00 mL、15.00 mL、20.00 mL、25.00 mL 于一系列 50 mL 具塞比色管中, 补加水至 25 mL。另吸取 25.0 mL 水样于 50 mL 具塞比色管中, 向各标准管和水样管中, 各加 3 滴对硝基酚指示剂, 若水样为中性, 则显黄色, 可滴加盐酸溶液恰至无色; 若水样为酸性, 则不显色, 可先滴加氨水溶液至显黄色, 再滴加盐酸溶液至黄色恰好消失。

加 1.0 mL 抗坏血酸溶液, 摇匀, 加 4.0 mL 铝试剂溶液, 用水稀释至 50 mL, 摇匀, 放置 15 min。于波长 520 nm 处, 用 1 cm 比色皿, 以试剂空白作参比测量吸光度。以标准系列比色管中铝的质量 ( $\mu\text{g}$ ) 为横坐标, 吸光度为纵坐标绘制校准曲线。

### 31.2.5 分析结果的表述

试样中铝含量按式 (50) 计算:

$$\rho(\text{Al}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (50)$$

式中:

- $\rho(\text{Al})$ ——水样中铝的质量浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);
- $m$ ——从校准曲线上查得试样管中铝的质量, 单位为微克 ( $\mu\text{g}$ );
- $V$ ——水样体积, 单位为毫升 (mL);
- 1 000——单位换算系数。

### 31.2.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 31.2.7 其他

本法定量限为 0.02 mg/L。

## 31.3 石墨炉原子吸收光谱法

### 31.3.1 原理

同 17.2.1。

### 31.3.2 试剂和材料

除非另有规定, 本方法中所用试剂均为分析纯, 水为 GB/T 6682 规定的二级水。

31.3.2.1 铝标准储备溶液 [ $\rho(\text{Al})=1 \text{ mg/mL}$ ]: 称取 1.759 g 硫酸铝钾 [ $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ] 溶于水, 定容至

100mL，在聚四氟乙烯或聚丙烯或聚乙烯瓶中储存。

31.3.2.2 铝标准中间溶液[ $\rho(\text{Al})=50 \mu\text{g}/\text{mL}$ ]：吸取 5.00 mL 铝标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)定容至刻度，摇匀。

31.3.2.3 铝标准工作溶液[ $\rho(\text{Al})=1 \mu\text{g}/\text{mL}$ ]：吸取 2.00 mL 铝标准中间溶液于 100 mL 容量瓶中，用硝酸溶液(1+99)定容至刻度，摇匀。

31.3.2.4 硝酸镁溶液(50g/L)：称取 5 g 硝酸镁[ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ，优级纯]，加水溶解并稀释至 100 mL。

31.3.2.5 过氧化氢溶液[ $\omega(\text{H}_2\text{O}_2)=30\%$ ]：优级纯。

31.3.2.6 氢氟酸( $\rho_{20}=1.19 \text{g}/\text{mL}$ )。

31.3.2.7 氢氟酸溶液(1+1)。

31.3.2.8 草酸( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )，固体。

31.3.2.9 钼溶液(60 g/L)：称取 3 g 金属钼(99.99%)，放入聚四氟乙烯塑料杯中，加入 10 mL 氢氟酸溶液，3 g 草酸和 0.75 mL 过氧化氢溶液，在沙浴上小心加热至金属溶解。若反应慢，可适量加入过氧化氢溶液，待溶解后加入 4 g 草酸和大约 30 mL 水，并稀释到 50 mL。保存于塑料瓶中。

### 31.3.3 仪器和设备

31.3.3.1 石墨炉原子吸收光谱仪。

31.3.3.2 铝元素空心阴极灯。

31.3.3.3 氩气钢瓶。

31.3.3.4 微量加样器：20  $\mu\text{L}$ 。

31.3.3.5 聚乙烯瓶：100 mL。

### 31.3.4 分析步骤

吸取铝标准工作溶液 0 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL 和 5.00 mL 于 5 个 100 mL 容量瓶内，分别加入 1.0 mL 硝酸镁溶液，用硝酸溶液(1+99)定容至刻度，摇匀，分别配制成  $\rho(\text{Al})=0 \mu\text{g}/\text{L}$ 、20  $\mu\text{g}/\text{L}$ 、30  $\mu\text{g}/\text{L}$ 、40  $\mu\text{g}/\text{L}$  和 50  $\mu\text{g}/\text{L}$  的标准系列。另吸取 10.0 mL 水样，加入 0.1 mL 硝酸镁溶液。同时吸取 10.0 mL 硝酸溶液(1+99)，加入 0.1 mL 硝酸镁溶液，作为空白。

仪器工作条件设定后依次吸取 20  $\mu\text{L}$  试剂空白，标准系列和样液，注入石墨管，启动石墨炉控制程序和记录仪，记录吸收峰高或峰面积。以质量浓度为横坐标，峰高或峰面积为纵坐标绘制校准曲线。

仪器工作条件

参考仪器说明书，将仪器工作条件调整至测铝最佳状态，波长 309.3 nm，石墨炉工作程序见表 17。

表 17 石墨炉工作程序

程序	干燥	灰化	原子化	净化
温度/ $^{\circ}\text{C}$	120	1400	2400	2700
斜率/s	2	2	0	1
保持/s	30	30	5	4
氩气流量/( $\text{mL}/\text{min}$ )	—	300	0	300

### 31.3.5 分析结果的表述

试样中铝含量按式 (51) 计算：

$$\rho(\text{Al}) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \quad \dots\dots\dots (51)$$

式中：

$\rho(\text{Al})$ ——水样中铝的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )；

$\rho_1$ ——从校准曲线上查得试样中铝的质量浓度，单位为微克每升 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

$V_f$ ——水样稀释后的体积，单位为毫升（mL）。

### 31.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10 %。

### 31.3.7 其他

本方法定量限为 2.9  $\mu\text{g/L}$ 。

## 32 硒

### 32.1 二氨基萘荧光法

#### 32.1.1 原理

2, 3-二氨基萘在  $\text{pH}=1.5\sim 2.0$  溶液中，选择性地与四价硒离子反应生成苯并[c]硒二唑化合物绿色荧光物质，被环己烷萃取，产生的荧光强度与四价硒含量成正比。水样需先经硝酸-高氯酸混合酸消化将四价以下的无机和有机硒氧化为六价硒，再经盐酸消化将六价硒还原为四价硒，然后测定总硒含量。

#### 32.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

32.1.2.1 高氯酸( $\rho_{20}=1.67\text{ g/mL}$ )。

32.1.2.2 盐酸( $\rho_{20}=1.19\text{ g/mL}$ )。

32.1.2.3 盐酸溶液[ $c(\text{HCl})=0.1\text{ mol/L}$ ]：吸取 8.4 mL 盐酸，用水稀释为 1 000 mL。

32.1.2.4 硝酸( $\rho_{20}=1.42\text{ g/mL}$ )：优级纯。

32.1.2.5 硝酸-高氯酸(1+1)：量取 100 mL 硝酸，加入 100 mL 高氯酸，混匀。

32.1.2.6 盐酸溶液(1+4)：量取 50 mL 盐酸，加入 200 mL 水中，混匀。

32.1.2.7 氨水(1+1)：吸取氨水( $\rho_{20}=0.88\text{ g/mL}$ )与等体积水混匀。

32.1.2.8 乙二胺四乙酸二钠溶液(50 g/L)：称取 5 g 乙二胺四乙酸二钠( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )，加入少量水中，加热溶解，放冷后稀释至 100 mL。

32.1.2.9 盐酸羟胺溶液(100 g/L)：称取 10 g 盐酸羟胺( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ )，溶于水中，并稀释至 100 mL。

32.1.2.10 精密 pH 试纸： $\text{pH}=0.5\sim 5.0$ 。

32.1.2.11 甲酚红溶液(0.2 g/L)：称取 20 mg 甲酚红( $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_5\text{S}$ )，溶于少量水中，加 1 滴氨水使其完全溶解，加水稀释至 100 mL。

32.1.2.12 混合试剂：吸取 50 mL 乙二胺四乙酸二钠溶液、50 mL 盐酸羟胺溶液和 2.5 mL 甲酚红溶液，加水稀释至 500 mL，混匀。临用前配制。

32.1.2.13 环己烷：不可有荧光杂质，不纯时需重蒸后使用。用过的环己烷重蒸后可再用。

32.1.2.14 2, 3-二氨基萘溶液(1 g/L)：称取 100 mg 2, 3-二氨基萘[简称 DAN,  $\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{NH}_2)_2$ ]于 250 mL 磨口锥形瓶中，加入 100 mL 盐酸溶液，振摇至全部溶解(约 15 min)后，加入 20 mL 环己烷，继续振摇 5 min，移入底部塞有玻璃棉(或脱脂棉)的分液漏斗中，静置分层后将水相放回原锥形瓶内，再用环己烷萃取多次(萃取次数视 DAN 试剂中荧光杂质多少而定，一般需 5 次~6 次)，直到环己烷相荧光最低为止。将此纯化的水溶液储于棕色瓶中，加一层约 1 cm 厚的环己烷以隔绝空气，置冰箱内保存。用前再以环己烷萃取一次。经常使用以每月配制一次为宜，不经常使用可保存一年。此溶液需在暗室中配制。

32.1.2.15 硒标准储备溶液[ $\rho(\text{Se})=100\text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：准确称取 0.1000 g 硒，溶于少量硝酸中，加入 2 mL 高氯酸。在沸水浴上加热蒸去硝酸(约 3 h~4 h)，稍冷后加入 8.4 mL 盐酸，继续加热 2 min，然后移入 1 000 mL 容量瓶内，用水定容。

32.1.2.16 硒标准工作溶液[ $\rho(\text{Se})=0.05\text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：吸取硒标准储备溶液，用盐酸溶液逐级进行稀释，储于冰箱内备用。

#### 32.1.3 仪器和设备

本方法首次使用的玻璃器皿，均须以硝酸(1+1)浸泡 4 h 以上，并用水冲洗洁净；本法用过的玻璃器皿，用水淋洗后，在洗涤剂溶液(5 g/L)中浸泡 2 h 以上，并用水洗净。

32.1.3.1 荧光分光光度计或荧光光度计。

32.1.3.2 分液漏斗：25 mL、250 mL。

32.1.3.3 具塞比色管：5 mL。

32.1.3.4 电热板。

32.1.3.5 水浴锅。

32.1.3.6 磨口锥形瓶：100 mL。

#### 32.1.4 分析步骤

##### 32.1.4.1 消化

吸取 5.00 mL~20.00 mL 水样及硒标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.30 mL、0.50 mL、0.70 mL、1.00 mL、1.50 mL 和 2.00 mL 分别于 100 mL 磨口锥形瓶中，各加水至与水样相同体积。沿瓶壁加入 2.5 mL 硝酸-高氯酸，将瓶(勿盖塞)置于电热板上加热至瓶内产生浓白烟，溶液由无色变成浅黄色(瓶内溶液太少时，颜色变化不明显，以观察浓白烟为准)为止，立即取下(消化未到终点过早取下，会因所含荧光杂质未被分解完全而产生干扰，使测定结果偏高；到达终点还继续加热将会造成硒的损失)，稍冷后加入 2.5 mL 盐酸溶液，继续加热至呈浅黄色，立即取下。

消化完毕的溶液放冷后，各瓶均加入 10 mL 混合试剂，摇匀，溶液应呈桃红色，用氨水调节至浅橙色，若氨水加过量，溶液呈黄色或桃红(微带蓝)色，需用盐酸溶液再调回至浅橙色，此时溶液 pH 值为 1.5~2.0。必要时需用 pH=0.5~5.0 精密试纸检验，然后冷却。

向上述消化完毕的各瓶内加入 2 mL 2,3-氨基茶溶液(本步骤需在暗室内黄色灯下操作)。摇匀，置沸水浴中加热 5 min(自放入沸水浴中算起)，取出，冷却。向各瓶加入 4.0 mL 环己烷，加盖密塞，振摇 2 min。将全部溶液移入分液漏斗(活塞勿涂油)中，待分层后，弃去水相，将环己烷相由分液漏斗上口(先用滤纸擦干净)倾入具塞试管内，密塞待测。

注：四价硒与 2,3-二氨基茶应在酸性溶液中反应，pH 以 1.5~2.0 为最佳，过低时溶液易乳化，太高时测定结果偏高。甲酚红指示剂有 pH=2~3 及 7.2~8.8 两个变色范围，前者是由桃红色变为黄色，后者是由黄色变成桃红(微带蓝)色。本方法是采用前一个变色范围，将溶液调节至浅橙色 pH 为 1.5~2.0 最适宜。

##### 32.1.4.2 测定

可选用下列仪器之一测定荧光强度。

荧光分光光度计：激发光波长 376 nm，发射光波长为 520 nm。

荧光光度计：不同型号的仪器具备的滤光片不同，应选择适当滤光片。可用激发光滤片为 330 nm，荧光滤片为 510 nm(截止型)和 530 nm(带通型)组合滤片。

绘制校准曲线，从曲线上查出水样管中硒的质量。

##### 32.1.5 分析结果的表述

试样中硒含量按式(52)计算：

$$\rho(\text{Se}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (52)$$

式中：

$\rho(\text{Se})$ ——水样中硒的质量浓度，单位为毫克每升(mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得试样中硒的质量，单位为微克( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升(mL)；

1 000——单位换算系数。

##### 32.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 32.1.7 其他

本方法定量限为 0.25  $\mu\text{g/L}$ 。

## 32.2 氢化物发生原子吸收光谱法

### 32.2.1 原理

取适量水样加硝酸-高氯酸消化至冒高氯酸白烟，将水中低价硒氧化为六价硒。在盐酸介质中加热煮沸水样残渣，将六价硒还原为四价硒。然后将试样调至含适量的盐酸和铁氰化钾后，置于氢化物发生器中与硼氢化钾作用生成气态硒化氢，用纯氮将硒化氢吹入高温电热石英管原子化。根据硒基态原子吸收由硒空心阴极灯发射出来的共振线的量与水中硒含量成正比，试样和标准系列同时测定，由校准曲线求水中硒含量。

如果只测四价和六价硒，水样可不经消化处理。如只测四价硒，水样既不消化也不用还原步骤。只要将水样调到测定范围内就可测定。

### 32.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

32.2.2.1 硝酸( $\rho_{20}=1.42\text{ g/mL}$ )。

32.2.2.2 盐酸( $\rho_{20}=1.19\text{ g/mL}$ )。

32.2.2.3 盐酸溶液(1+2)。

32.2.2.4 盐酸溶液(1+1)。

32.2.2.5 氢氧化钠溶液(10 g/L): 称取 1 g 氢氧化钠 (NaOH)，用水溶解，并稀释为 100 mL。

32.2.2.6 硼氢化钾溶液(10 g/L): 称取 1 g 硼氢化钾( $\text{KBH}_4$ )，用氢氧化钠溶液溶解，并稀释至 100 mL。如溶液不透明，需过滤。冰箱内保存，可稳定 1 周，否则应临用时配制。

32.2.2.7 铁氰化钾溶液(100 g/L): 称取 10 g 铁氰化钾 $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ，用水溶解，并稀释至 100 mL。

32.2.2.8 硝酸-高氯酸(1+1): 同 32.1.2.5。

32.2.2.9 硒标准储备溶液 $[\rho(\text{Se})=100\text{ }\mu\text{g/mL}]$ : 同 32.1.2.15。

32.2.2.10 硒标准中间溶液 $[\rho(\text{Se})=10\text{ }\mu\text{g/mL}]$ : 吸取硒标准储备溶液 10.00 mL 于容量瓶内，用盐酸溶液(32.2.2.3)定容至 100 mL。

32.2.2.11 硒标准工作溶液 $[\rho(\text{Se})=0.1\text{ }\mu\text{g/mL}]$ : 吸取适量硒标准中间溶液，用水稀释。临用前配制。

32.2.2.12 高纯氮。

### 32.2.3 仪器和设备

32.2.3.1 原子吸收光谱仪。

32.2.3.2 硒空心阴极灯。

32.2.3.3 氢化物发生器和电热石英管或火焰石英管原子化器。

32.2.3.4 具塞比色管: 10 mL。

### 32.2.4 分析步骤

#### 32.2.4.1 试样预处理

吸取 50 mL 水样于 100 mL 锥形瓶中，加 2.0 mL 硝酸-高氯酸，在电热板上蒸发至冒高氯酸白烟，取下放冷。加 4.0 mL 盐酸溶液，在沸水浴中加热 10 min，取出放冷。转移至预先加有 1.0 mL 铁氰化钾溶液的 10 mL 具塞比色管中，加水至 10 mL，混匀后测总硒。

吸取 50.0 mL 水样于 100 mL 锥形瓶中，加 2.0 mL 盐酸，于电热板上蒸发至溶液小于 5 mL，取下放冷。转移至预先加有 1.0 mL 铁氰化钾溶液的 10 mL 具塞比色管中，加水至 10 mL，混匀后测四价和六价硒。

#### 32.2.4.2 制备标准系列

分别吸取硒标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.20 mL、0.40 mL、0.80 mL、1.00 mL、1.20 mL 和 1.50 mL

置于 10 mL 具塞比色管中，加 4.0 mL 盐酸溶液及 1.0 mL 铁氰化钾溶液，加水至 10 mL。混匀后供测定。

### 32.2.4.3 仪器工作条件

参考仪器说明书，将仪器工作条件调整至最佳状态，仪器工作条件见表 18。

表 18 仪器工作条件

波长/nm	196
灯电流/mA	8
氮气流量/L/min	1.2
原子化温度/°C	800

分别吸取 5.0 mL 试样溶液和标准系列于氢化物发生器中，加 3.0 mL 硼氢化钾溶液，测量吸光度。以吸光度对硒浓度作图，绘制校准曲线，从曲线上查出试样管中硒的质量。

### 32.2.5 分析结果的表述

试样中硒含量按式 (53) 计算：

$$\rho(\text{Se}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (53)$$

式中：

$\rho(\text{Se})$ ——水样中硒的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得试样中硒的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

### 32.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 32.2.7 其他

本方法定量限为 0.2  $\mu\text{g/L}$ 。

## 32.3 氢化物发生原子荧光光谱法

### 32.3.1 原理

在盐酸介质中，硼氢化钾将四价硒还原为硒化氢。以氩气作载气将硒化氢从母液中分离并导入石英炉原子化器中原子化。以硒特种空心阴极灯作激发光源，使硒原子发出荧光，在一定浓度范围内，荧光强度与硒的含量成正比。

水样经硝酸-高氯酸混酸消化，将四价以下的无机和有机硒氧化成六价硒；经盐酸消化将六价硒还原为四价硒，由此测定总硒浓度。

### 32.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

32.3.2.1 盐酸( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ )：优级纯。

32.3.2.2 盐酸溶液[ $c(\text{HCl})=0.1 \text{ mol/L}$ ]：吸取 8.4 mL 浓盐酸( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ )，用水稀释为 1 000 mL。

32.3.2.3 硝酸-高氯酸(1+1)：分别量取等体积的硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ ，优级纯)和高氯酸( $\rho_{20}=1.68 \text{ g/mL}$ ，优级纯)混合。

32.3.2.4 硼氢化钾溶液(7 g/L)：称取 2 g 氢氧化钾(KOH，优级纯)溶于 200 mL 水中，加入 7 g 硼氢化钾( $\text{KBH}_4$ )并使之溶解，用水稀释至 1 000 mL。现用现配。

32.3.2.5 硒标准储备溶液[ $\rho(\text{Se})=100 \mu\text{g/mL}$ ]：同 32.1.2.15。

32.3.2.6 硒标准工作溶液[ $\rho(\text{Se})=0.05 \mu\text{g/mL}$ ]：将硒标准储备溶液用盐酸溶液逐级稀释，储存于冰箱中。

### 32.3.3 仪器和设备

32.3.3.1 原子荧光光谱仪。

32.3.3.2 硒特种空心阴极灯。

### 32.3.4 分析步骤

#### 32.3.4.1 消化

吸取 5 mL~20 mL 水样及硒标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.50 mL、1.00 mL、3.00 mL、5.00 mL 分别于 100 mL 锥形瓶中，各加水与水样相同体积，并各加数粒玻璃珠。沿瓶壁加入 2.0 mL 硝酸-高氯酸，缓缓加热浓缩至出现浓白烟，稍冷后加 5 mL 水，加 5 mL 盐酸，加热微沸保持 3 min~5 min。冷却后移入 25 mL 比色管中，以少许水洗涤锥形瓶，洗液合并于比色管中，并加水至刻度，摇匀。

#### 32.3.4.2 测定

参考仪器说明书，将仪器工作条件调整至测硒最佳状态，原子荧光工作条件见表 19。

表 19 硒的原子荧光工作条件

项目	条件
硒特种空心阴极灯电流/mA	60~80
日盲光电倍增管负高压/V	280~300
原子化器温度/℃	室温
氙气压力/mPa	0.02
氙气流量/mL/min	1000
硼氢化钾流量/mL/s	0.6~0.7
加液时间/s	8

吸取 5.0 mL 样液，注入氢化物发生器中，加硼氢化钾溶液，并记录荧光强度值，绘制校准曲线。

以比色管中硒质量( $\mu\text{g}$ )为横坐标，荧光强度值为纵坐标绘制校准曲线，从曲线上查出水样中硒的质量。

#### 32.3.5 分析结果的表述

试样中硒含量按式 (54) 计算：

$$\rho(\text{Se}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (54)$$

式中：

$\rho(\text{Se})$ ——水样中硒的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得试样中硒的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

#### 32.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 32.3.7 其他

本方法定量限为 0.25  $\mu\text{g/L}$ 。

### 33 砷

#### 33.1 二乙氨基二硫代甲酸银分光光度法

##### 33.1.1 原理

锌与酸作用产生新生态氢。在碘化钾和氯化亚锡存在下，使五价砷还原为三价砷。三价砷与新生态氢生成砷化氢气体。通过用乙酸铅棉花去除硫化氢的干扰，然后与溶于三乙醇胺-三氯甲烷中的二乙氨基二硫代甲酸银作用，生成棕红色的胶态银，比色定量。

### 33.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

33.1.2.1 三氯甲烷。

33.1.2.2 无砷锌粒。

33.1.2.3 硫酸溶液(1+1)。

33.1.2.4 碘化钾溶液(150 g/L)：称取 15 g 碘化钾(KI)，溶于水中并稀释至 100 mL，储于棕色瓶内。

33.1.2.5 氯化亚锡溶液(400 g/L)：称取 40 g 氯化亚锡( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )，溶于 40 mL 盐酸( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/L}$ )中，并加水稀释至 100 mL，投入数粒金属锡粒。

33.1.2.6 乙酸铅棉花：将脱脂棉浸入乙酸铅溶液(100 g/L)中，2 h 后取出，让其自然干燥。

33.1.2.7 吸收溶液：称取 0.25 g 二乙氨基二硫代甲酸银( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{NS}_2 \cdot \text{Ag}$ )，研碎后用少量三氯甲烷溶解，加入 1.0 mL 三乙醇胺 $[\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3]$ ，再用三氯甲烷稀释到 100 mL。必要时，静置过滤至棕色瓶内，储存于冰箱中。本试剂溶液中二乙氨基二硫代甲酸银浓度以 2.0 g/L~2.5 g/L 为宜，浓度过低将影响测定的灵敏度及重现性。溶解性不好的试剂应更换。实验室制备的试剂具有很好的溶解性。制备方法是分别溶解 1.7 g 硝酸银、2.3 g 二乙氨基二硫代甲酸钠( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{NS}_2\text{Na}$ )于 100 mL 水中，冷却到 20 °C 以下，缓缓搅拌混合。过滤生成的柠檬黄色银盐沉淀，用冷的水洗涤沉淀数次，置于干燥器中，避光保存。

33.1.2.8 砷标准储备溶液 $[\rho(\text{As})=1 \text{ mg/mL}]$ ：准确称取 0.6600 g 经 105 °C 干燥 2 h 的三氧化二砷( $\text{As}_2\text{O}_3$ )，溶于 5 mL 氢氧化钠溶液(200 g/L)中。用酚酞作指示剂，以硫酸溶液(1+17)中和到中性后，再加入 15 mL 硫酸溶液(1+17)，转入 500 mL 容量瓶，加水至刻度。

33.1.2.9 砷标准工作溶液 $[\rho(\text{As})=1 \mu\text{g/mL}]$ ：吸取 10.00 mL 砷标准储备溶液，置于 100 mL 容量瓶中，加水至刻度，混匀。临用时，吸取 10.00 mL 此溶液，置于 1 000 mL 容量瓶中，加水至刻度，混匀。

### 33.1.3 仪器和设备

33.1.3.1 砷化氢发生器，见图 2。

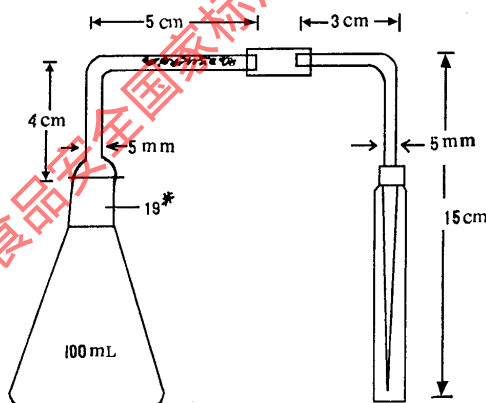


图 2 砷化氢发生瓶及吸收管

33.1.3.2 分光光度计。

### 33.1.4 分析步骤

吸取 50.0 mL 水样，置于砷化氢发生瓶中。另取砷化氢发生瓶 8 个，分别加入砷标准工作溶液 0、0.50、1.00、2.00、3.00、5.00、7.00 及 10.00 mL，各加水至 50 mL。

向水样和标准系列中各加 4 mL 硫酸溶液，2.5 mL 碘化钾溶液(33.1.2.4)及 2 mL 氯化亚锡溶液，混匀，放置 15 min。

于各吸收管中分别加入 5.0 mL 吸收溶液，插入塞有乙酸铅棉花的导气管。迅速向各发生瓶中倾入预先称好的 5 g 无砷锌粒，立即塞紧瓶塞，勿使漏气。在室温(低于 15 °C 时可置于 25 °C 温水浴中)反应 1 h，

最后用三氯甲烷将吸收液体积补足到 5.0 mL，在 1 h 内于波长 515 nm 处，用 1 cm 比色皿，以三氯甲烷为参比，测定吸光度。绘制校准曲线，从曲线上查出水样管中砷的质量

注：颗粒大小不同的锌粒在反应中所需酸量不同，一般为 4 mL~10 mL，需在使用前用标准溶液进行预试验，以选择适宜的酸量。

### 33.1.5 分析结果的表述

试样中砷含量按式 (55) 计算：

$$\rho(\text{As}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots(55)$$

式中：

$\rho(\text{As})$ ——水样中砷(以 As 计)的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得的水样管中砷(以 As 计)的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

### 33.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10 %。

### 33.1.7 其他

本方法定量限为 0.01 mg/L。

## 33.2 锌-硫酸系统新银盐光谱法

### 33.2.1 原理

水中砷在碘化钾、氯化亚锡、硫酸和锌作用下还原为砷化氢气体，并与吸收液中银离子反应，在聚乙烯醇的保护下形成单质胶态银，呈黄色溶液，可比色定量。

### 33.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

除下列试剂外，其它试剂同 33.1.2。

33.2.2.1 乙醇[ $\rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ ]。

33.2.2.2 硝酸-硝酸银溶液：准确称取 2.50 g 硝酸银 ( $\text{AgNO}_3$ ) 于 250 mL 棕色容量瓶中，用少量水溶解后，加 5 mL 硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ )，用水定容。临用时配制。

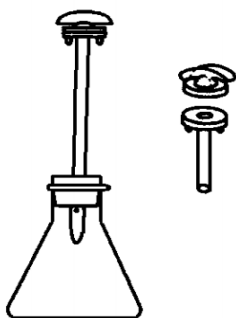
33.2.2.3 聚乙烯醇溶液(4 g/L)：准确称取 0.80 g 聚乙烯醇(聚合度为  $1750 \pm 50$ )于烧杯中，加 200 mL 水加热并不断搅拌至完全溶解后，盖上表面皿，微热煮沸 10 min，冷却后使用。当天配制。

33.2.2.4 砷化氢吸收液：按 1+1+2 体积比将硝酸-硝酸银溶液、聚乙烯醇溶液及乙醇混合，充分摇匀后使用，临用前配制。

33.2.2.5 砷标准工作溶液[ $\rho(\text{As})=0.5 \mu\text{g/mL}$ ]：取砷标准储备溶液用水逐级稀释为  $\rho(\text{As})=0.5 \mu\text{g/mL}$  的标准工作溶液。

### 33.2.3 仪器和设备

33.2.3.1 砷化氢发生器。见图 3。



注：插入吸收液中的导气弯管内毛细管内径为 0.3 mm~0.4mm。

图 3 砷化氢发生吸收装置图

### 33.2.3.2 分光光度计

### 33.2.4 分析步骤

吸取 50.0 mL 水样于砷化氢发生瓶中。另取 8 个砷化氢反应瓶，分别加入砷标准工作溶液 0 mL、0.40 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL、5.00 mL 及 6.00 mL，并加水至 50 mL。

向水样及标准系列管中加 4 mL~10 mL 硫酸溶液，2.5 mL 碘化钾溶液及 2 mL 氯化亚锡溶液，混匀，放置 15 min。

注：硫酸用量因锌粒大小而异，可在使用前通过预试验确定。

于吸收管中分别加入 4 mL 砷化氢吸收液。连接好吸收装置后，迅速向各反应瓶投入预先称好的 5g 锌粒并立即塞紧瓶塞，在室温下反应 1 h。

于波长 400 nm 处，用 1 cm 比色皿，以吸收液为参比，测量吸光度。绘制校准曲线，从曲线上查出水样管中砷的质量。

### 33.2.5 分析结果的表述

试样中砷含量按式 (56) 计算：

$$\rho(\text{As}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (56)$$

式中：

$\rho(\text{As})$ ——水样中砷(以 As 计)的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得的水样管中砷(以 As 计)的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

### 33.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 33.2.7 其他

本法定量限为 0.004 mg/L。

## 33.3 催化示波极谱法

### 33.3.1 原理

砷在硫酸-碘化钾-亚碲酸钾的支持电解质中，于 -0.64 V (对饱和甘汞电极) 有一灵敏的吸附催化波，其波高与砷含量成正比。

### 33.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

#### 33.3.2.1 硝酸( $\rho_{20}=1.42 \text{ g/mL}$ )。

33.3.2.2 硫酸( $\rho_{20}=1.84$  g/mL)。

33.3.2.3 硫酸溶液(1+17): 取 10 mL 硫酸在玻棒搅拌下慢慢加到 170 mL 水中。

33.3.2.4 高锰酸钾溶液(15.8g/L): 准确称取 1.58 g 高锰酸钾( $\text{KMnO}_4$ ), 溶于水并稀释至 100 mL。

33.3.2.5 盐酸羟胺溶液(100 g/L): 称取 10 g 盐酸羟胺( $\text{NH}_2\text{OH HCl}$ ), 溶于水并稀释至 100 mL。

33.3.2.6 碘化钾—抗坏血酸溶液: 准确称取 33.2 g 碘化钾(KI)及 0.1 g 抗坏血酸( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ), 用水溶解并稀释至 100 mL。

33.3.2.7 亚碲酸钾溶液(0.2 g/L): 准确称取 0.1 g 亚碲酸钾( $\text{K}_2\text{TeO}_3$ ), 溶于水并稀释至 500 mL。

33.3.2.8 消化液:将高锰酸钾溶液与硫酸溶液等体积混合。

33.3.2.9 氢氧化钠溶液(200 g/L): 称取 20 g 氢氧化钠(NaOH), 用新煮沸放冷的水溶解, 并稀释为 100 mL。

33.3.2.10 砷标准储备溶液: 同 33.1.2.8。

33.3.2.11 砷标准工作溶液: 同 33.1.2.9。

33.3.2.12 酚酞指示剂(5 g/L): 称取 0.5 g 酚酞, 溶于 50 mL 乙醇[ $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ ]中, 再加水至 100 mL。

### 33.3.3 仪器和设备

33.3.3.1 瓷坩埚: 30 mL。

33.3.3.2 水浴锅。

33.3.3.3 示波极谱仪。

### 33.3.4 分析步骤

#### 33.3.4.1 试样处理

吸取 10.0 mL 水样于 30 mL 瓷坩埚中, 加 2 mL 消化液, 置沸水浴上蒸至近干(只剩下少许硫酸)。

#### 33.3.4.2 标准系列

吸取砷标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.30 mL、0.50 mL、0.70 mL、1.00 mL 及 3.00 mL, 分别置于 30 mL 瓷坩埚中, 补加水至 10 mL, 各加 2 mL 消化液, 以下同试样处理。

33.3.4.3 向试样和标准中各加入 7.75 mL 硫酸溶液, 再加入 0.25 mL 盐酸羟胺溶液, 使高锰酸钾颜色褪尽。再依次加 1.5 mL 碘化钾—抗坏血酸溶液、0.5 mL 亚碲酸钾溶液, 混匀。

33.3.4.4 于示波极谱仪上, 用三电极系统, 阴极化, 原点电位为-0.4 V, 导数扫描。在-0.64 V 处读取水样及标准系列的峰高。以砷质量为横坐标, 峰高为纵坐标, 绘制校准曲线, 从曲线上查出水样中砷的质量。

### 33.3.5 分析结果的表述

试样中砷含量按式(57)计算:

$$\rho(\text{As}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (57)$$

式中:

$\rho(\text{As})$ ——水样中砷的质量浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);

$m$ ——从校准曲线上查得砷的质量, 单位为微克 ( $\mu\text{g}$ );

$V$ ——水样体积, 单位为毫升 (mL);

1 000——单位换算系数。

### 33.3.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 33.3.7 其他

本方法定量限为 10  $\mu\text{g/L}$ 。

## 33.4 氢化物发生原子荧光光谱法

### 33.4.1 原理

在盐酸介质中, 硼氢化钾将砷转化为砷化氢。以氩气作载气将砷化氢导入石英炉原子化器中进行原

子化。以砷特种空心阴极灯作激发光源，使砷原子发出荧光，荧光强度在一定范围内与砷的含量成正比。

### 33.4.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

33.4.2.1 盐酸( $\rho_{20}=1.19$  g/mL)，优级纯。

33.4.2.2 氢氧化钾 (KOH)，优级纯。

33.4.2.3 硫脲溶液(150 g/L)：称取 15 g 硫脲[(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CS]溶于 100 mL 水中，用时现配。

33.4.2.4 硼氢化钾溶液(7 g/L)：称取 2 g 氢氧化钾溶于 200 mL 水中，加入 7 g 硼氢化钾 (KBH<sub>4</sub>) 并使之溶解。用水稀释至 1 000 mL，用时现配。

33.4.2.5 砷标准储备溶液[ $\rho(\text{As})=100$   $\mu\text{g/mL}$ ]：准确称取 0.1320 g 经 105  $^{\circ}\text{C}$  干燥 2 h 的三氧化二砷(As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 于 50 mL 烧杯中，加 10 mL 氢氧化钠溶液(40 g/L)使之溶解，加 5 mL 盐酸，转入 1 000 mL 容量瓶中定容，混匀。

33.4.2.6 砷标准工作溶液[ $\rho(\text{As})=0.1$   $\mu\text{g/mL}$ ]：吸取 5.00 mL 砷标准储备溶液于 500 mL 容量瓶中，以水定容，混匀。此溶液为[ $\rho(\text{As})=1$   $\mu\text{g/mL}$ ]。再吸取 10.00 mL 此溶液于 100 mL 容量瓶中，以水定容。

### 33.4.3 仪器和设备

33.4.3.1 原子荧光光谱仪

33.4.3.2 砷特种空心阴极灯。

### 33.4.4 分析步骤

33.4.4.1 仪器工作条件

参考仪器说明书将仪器工作条件调整至测砷最佳状态，原子荧光工作条件见表 20。

表 20 原子荧光工作条件

项目	条件
灯电流/ mA	40~50
光电倍增管负高压/ V	250~300
原子化温度/ $^{\circ}\text{C}$	室温或 200
氙气压力/ Mpa	0.02
氙气流量/ (mL/min)	800

### 33.4.4.2 试样测定

吸取 20 mL 水样于 25 mL 比色管中，加入 3 mL 盐酸，2 mL 硫脲溶液，摇匀，放置 10 min。吸取 5 mL 该试液，注入仪器氢化物发生器中，记录荧光强度值。

### 33.4.4.2 校准曲线的绘制

分别吸取砷标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.20 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.50 mL 和 5.00 mL 于一系列 25 mL 比色管中，加入 3 mL 盐酸，2 mL 硫脲溶液，加水至 25 mL，摇匀，放置 10 min 后，按 33.4.4.2 步骤操作。以比色管中砷质量( $\mu\text{g}$ )为横坐标，荧光信号值为纵坐标，绘制校准曲线。

### 33.4.5 分析结果的表述

试样中砷含量按式 (58) 计算：

$$\rho(\text{As}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (58)$$

式中：

$\rho(\text{As})$ ——水样中砷的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得的试样管中砷的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

### 33.4.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10 %。

### 33.4.7 其他

本方法定量限为 0.4 μg/L。

## 34 硼酸盐

### 34.1 甲亚胺-H 光谱法

#### 34.1.1 原理

在酸性条件下，甲亚胺-H 与硼形成黄色配合物，显色与硼的浓度成正比。

#### 34.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

34.1.2.1 乙酸铵缓冲溶液 (pH5.6)：称取 75 g 乙酸铵 (CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>)，5.0 g 乙二胺四乙酸二钠 (C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>Na<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O)，溶于 110 mL 水中，加入 37.5 mL 冰乙酸 [ω(CH<sub>3</sub>COOH)=36%]。

34.1.2.2 甲亚胺-H 溶液：称取 0.5 g 甲亚胺-H (C<sub>17</sub>H<sub>13</sub>NO<sub>8</sub>S)、2.0 g 抗坏血酸 (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>)，加入 100 mL 水，微热 (温度不得超过 50 ℃) 使其完全溶解，此溶液临用时现配。

34.1.2.3 硼标准储备溶液 [ρ(B)=0.1 mg/mL]：准确称取 0.2859 g 干燥硼酸 (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>)，溶于水中，定容至 500 mL，贮存于聚乙烯瓶中。

34.1.2.4 硼标准工作溶液 [ρ(B)=10.0 μg/mL]：吸取 10.0 mL 硼标准储备溶液于 100 mL 容量瓶中，用水定容至刻度，贮存于聚乙烯瓶中。

#### 34.1.3 仪器和设备

34.1.3.1 分光光度计。

34.1.3.2 全塑自动加液器。

34.1.3.3 无硼比色管：10 mL。

#### 34.1.4 分析步骤

吸取 5.00 mL 水样于 10 mL 无硼比色管中。另取硼标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.30 mL、0.50 mL、0.70 mL 和 1.00 mL 于无硼比色管中，用水稀释至 10 mL。向水样及标准系列管中加入 2.0 mL 乙酸铵缓冲溶液，混匀，准确加入 2.0 mL 甲亚胺-H 溶液，混匀，静置 90 min。

于波长 420 nm 处，用 1 cm 比色皿，以试剂空白为参比，测定吸光度。

注：甲亚胺-H 的合成——将 18 g H 酸溶于 1 L 水中，稍加热使之溶解完全。用 10% 氢氧化钠中和至中性，滴加浓盐酸并不停搅拌，使 pH=1.5，加 20 mL 水杨醛。40 ℃ 加热 1 h、静置 16 h、离心分离已合成的甲亚胺-H，用无水乙醇洗涤 5 次。静置 24 h，待乙醇完全挥发后，于 80 ℃ 烘箱中干燥 3 h。存放于干燥器中。

#### 34.1.5 分析结果的表述

试样中硼含量按式 (59) 计算：

$$\rho(\text{B}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (59)$$

式中：

ρ(B)——水样中硼的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

m——从校准曲线上查得的硼的质量，单位为微克 (μg)；

V——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

#### 34.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10 %。

### 34.1.7 其他

本方法定量限为 0.20 mg/L。

## 34.2 萃取—姜黄素光谱法

### 34.2.1 原理

用 2-甲基-2,4-二戊醇-甲基异丁基甲酮萃取液将水样中硼萃取到有机相，在酸性溶液中硼与姜黄素生成红色化合物，进行比色定量。

### 34.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

#### 34.2.2.1 盐酸溶液(1+1)。

34.2.2.2 萃取液(20%)：吸取 100 mL 2-甲基-2,4-二戊醇(C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub>)溶于 400 mL 甲基异丁基甲酮中，混匀。储存于聚乙烯瓶中。

#### 34.2.2.3 无水硫酸钠。

34.2.2.4 姜黄素乙酸溶液(1 g/L)：准确称取 100 mg 姜黄素(C<sub>21</sub>H<sub>20</sub>O<sub>6</sub>)溶于乙酸中，并用乙酸稀释至 100 mL。临用前现配制。

#### 34.2.2.5 磷酸( $\rho_{20}$ =1.69 g/mL)。

34.2.2.6 硼标准储备溶液[ $\rho(\text{B})=0.1 \text{ mg/mL}$ ]：34.1.2.3。

34.2.2.7 硼标准工作溶液[ $\rho(\text{B})=10.0 \mu\text{g/mL}$ ]：吸取 10.0 mL 硼标准储备溶液到 100 mL 容量瓶中，用水定容至刻度，混匀。储存于聚乙烯瓶中。

### 34.2.3 仪器和设备

本方法尽量避免用玻璃器皿，防止玻璃中硼的污染，可采用聚四氟乙烯、聚乙烯、铂金材料。

34.2.3.1 分液漏斗：100 mL。

34.2.3.2 具塞聚乙烯试管：15 mL。

34.2.3.3 恒温水浴。

34.2.3.4 振荡器。

### 34.2.4 分析步骤

吸取 25.0 mL 水样置于 100 mL 分液漏斗中。另取 6 个 100 mL 分液漏斗，分别加入硼标准工作溶液 0 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL、5.00 mL，用水稀释至 25 mL。向盛有水样和标准溶液的分液漏斗中各加入 25 mL 盐酸溶液，混匀。然后加入 10 mL 萃取液，在振荡器上振摇 5 min，静置 15 min，弃去水相。向各有机相中加 1 g 无水硫酸钠，脱水 15 min。

吸取 3.0 mL 有机相放于聚乙烯试管中，加入 2.0 mL 姜黄素乙酸溶液，再加入 2 mL 磷酸，振摇 2 min。然后把聚乙烯管置于 (70±3) °C 恒温水浴上加热 1 h。取出，冷却至室温。

于波长 510 nm 处，用 0.5 cm 比色皿，以空白溶液作为参比，在 45 min 内测定吸光度。绘制校准曲线，在曲线上查出试样中硼的质量。

### 34.2.5 分析结果的表述

试样中硼含量按式 (60) 计算：

$$\rho(\text{B}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (60)$$

式中：

$\rho(\text{B})$ ——水样中硼的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得硼的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

### 34.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 34.2.7 其他

本方法定量限为 0.4 mg/L。

## 34.3 姜黄素光谱法

### 34.3.1 原理

在酸性溶液中硼与姜黄素生成红色化合物(称为玫红花青)，进行比色定量。

### 34.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

34.3.2.1 姜黄素—草酸溶液：称取 0.04 g 姜黄素( $C_{12}H_{20}O_6$ )和 5.0 g 草酸[ $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ ]，溶于 80 mL 乙醇[ $\rho(C_2H_5OH)=95\%$ ]，加入 4.2 mL 浓盐酸( $\rho_{20}=1.19$  g/mL)，用乙醇[ $\rho(C_2H_5OH)=95\%$ ]稀释至 100 mL。如果试剂浑浊，应过滤后贮存于聚乙烯瓶里，保存于冰箱中。

34.3.2.2 乙醇[ $\rho(C_2H_5OH)=95\%$ ]。

34.3.2.3 硼标准储备溶液[ $\rho(B)=0.1$  mg/mL]：同 34.1.2.3。

34.3.2.4 硼标准工作溶液[ $\rho(B)=1.0$   $\mu$ g/mL]：吸取 10.00 mL 硼标准储备溶液，用水定容至 1 000 mL。储于聚乙烯瓶中。

### 34.3.3 仪器和设备

34.3.3.1 瓷蒸发皿：100 mL~150 mL 容量。标准系列和水样所用瓷蒸发皿，其大小、形状均应相同。

34.3.3.2 恒温水浴：控温精度 $\pm 2$   $^{\circ}C$ 。

34.3.3.3 具塞的容量瓶：25 mL。

34.3.3.4 分光光度计。

### 34.3.4 分析步骤

吸取 1.00 mL 水样或稀释水样(若水样中硼酸的含量大于 5.00 mg/L，用水适当稀释)，放于瓷蒸发皿上。另取同一类型、同一形状和同一大小瓷蒸发皿 5 个分别加入硼标准工作溶液 0 mL、0.25 mL、0.50 mL、0.75 mL 和 1.00 mL。补加水至 1.00 mL。向盛有水样和标准溶液的瓷蒸发皿中，各加入 4.00 mL 姜黄素—草酸溶液，轻轻地旋动瓷蒸发皿使之混合均匀。置瓷蒸发皿于  $(55 \pm 2)$   $^{\circ}C$  恒温水浴上，蒸干后继续维持 15 min，取出冷却。

用乙醇溶解瓷蒸发皿内固体物，用塑料棒擦洗瓷蒸发皿，并冲洗入 25 mL 容量瓶内(若溶液浑浊，可过滤)。将全部有色物定量移入容量瓶，用 95% 乙醇溶液定容至 25 mL。

于波长 540 nm 处，用 1 cm 比色皿，以空白为参比，测定试样和标准系列溶液的吸光度。

### 34.3.5 分析结果的表述

试样中硼含量按式 (61) 计算：

$$\rho(B) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (61)$$

式中：

$\rho(B)$ ——水样中硼的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得试样中硼的质量，单位为微克 ( $\mu$ g)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

### 34.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 34.3.7 其他

本方法定量限为 0.1 mg/L。

## 35 偏硅酸

### 35.1 硅钼黄光谱法

#### 35.1.1 原理

在酸性溶液中，可溶性硅酸与钼酸铵反应，生成可溶性的黄色硅钼杂多酸 $[\text{H}_4\text{Si}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]$ ，在一定浓度范围内，其吸光度与可溶性硅酸含量成正比。

#### 35.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。所配试剂须贮存于聚乙烯瓶中。

##### 35.1.2.1 盐酸溶液(1+1)。

35.1.2.2 氢氧化钠溶液(8 g/L)：称取 0.8 g 氢氧化钠溶于水中，稀释至 100 mL。

35.1.2.3 钼酸铵溶液(100 g/L)：称取 10 g 钼酸铵 $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 溶于水中，稀释至 100 mL。必要时可过滤。

35.1.2.4 草酸溶液(70 g/L)：称取 7 g 草酸 $(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ 溶于水中，稀释至 100 mL。

35.1.2.5 偏硅酸标准储备溶液 $[\rho(\text{H}_2\text{SiO}_3)=1.00 \text{ mg/mL}]$ ：准确称取 0.1539 g 已在 200℃干燥至恒重的高纯二氧化硅 $(\text{SiO}_2)$ 于铂坩锅中，加 0.6 g 碳酸钠 $(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ 与之混匀，在上面再覆盖一层碳酸钠(1 g~2 g)，在 960℃熔融 30 min，冷却后用水溶解。将溶液转入 200 mL 容量瓶中，用水定容。

35.1.2.6 偏硅酸标准工作溶液 $[\rho(\text{H}_2\text{SiO}_3)=100 \mu\text{g/mL}]$ ：吸取 50.0 mL 偏硅酸标准储备溶液于 500 mL 容量瓶中，用水定容。

35.1.2.7 对硝基酚指示剂(1 g/L)：准确称取 0.10 g 对硝基酚 $(\text{NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OH})$ 溶于水中，稀释至 100 mL。

#### 35.1.3 仪器和设备

35.1.3.1 分光光度计。

35.1.3.2 比色管，50 mL。

#### 35.1.4 分析步骤

##### 35.1.4.1 试样测定

取 50.0 mL 水样于 50 mL 比色管中（若水样为酸性，可少取水样，加 3 滴对硝基酚指示剂，滴加氢氧化钠溶液至恰显黄色，用水稀释至 50 mL），加 1.0 mL 盐酸溶液，2.0 mL 钼酸铵溶液，充分摇匀，放置 15 min（放置时间与温度有关，温度低于 20℃时放置 30 min，温度在 30℃~35℃时放置 10 min，温度高于 35℃时放置 5 min）。

加入 2.0 mL 草酸溶液，充分摇匀。放置 2 min 后，在波长 420 nm~430 nm 处，用 2 cm 比色皿，试剂空白作参比，测量吸光度(15 min 内完成)。

注：若无磷酸盐干扰，在此步骤中也可不加草酸溶液，直接测量吸光度。

##### 35.1.4.2 校准曲线的绘制

吸取偏硅酸标准工作溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、4.00 mL、6.00 mL、8.00 mL 和 10.00 mL 于一系列 50 mL 比色管中，用水稀释至 50 mL。以下操作同 35.1.4.1。以比色管中偏硅酸质量( $\mu\text{g}$ )为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制校准曲线。

#### 35.1.5 分析结果的表述

试样中偏硅酸含量按式 (62) 计算：

$$\rho(\text{H}_2\text{SiO}_3) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (62)$$

式中：

$\rho(\text{H}_2\text{SiO}_3)$ ——水样中偏硅酸的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得的比色管中偏硅酸的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

V——水样体积，单位为毫升（mL）。

### 35.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 35.1.7 其他

本方法定量限为 1 mg/L。

## 35.2 硅钼蓝光谱法

### 35.2.1 原理

在酸性溶液中，可溶性硅酸与钼酸铵反应，生成硅钼杂多酸。用 1,2,4-氨基萘酚磺酸将硅钼杂多酸还原为硅钼蓝，其吸光度在一定浓度范围内与可溶性硅酸含量成正比。

### 35.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。所配试剂须贮存于聚乙烯瓶中。

#### 35.2.2.1 盐酸溶液(1+1)。

#### 35.2.2.2 氢氧化钠溶液(8 g/L)：同 35.1.2.2。

#### 35.2.2.3 钼酸铵溶液(100 g/L)：同 35.1.2.3。

#### 35.2.2.4 草酸溶液(70 g/L)：同 35.1.2.4。

#### 35.2.2.5 1, 2, 4-氨基萘酚磺酸溶液(2.5 g/L)：将 30.0 g 亚硫酸氢钠( $\text{NaHSO}_3$ )溶于 100 mL 水中，加入 1.0 g 亚硫酸钠( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )和 0.50 g 1, 2, 4-氨基萘酚磺酸[1-氨基-2-萘酚-4-磺酸( $\text{C}_{10}\text{H}_9\text{O}_4\text{NS}$ )]，溶解后稀释至 200 mL。

#### 35.2.2.6 偏硅酸标准储备溶液[ $\rho(\text{H}_2\text{SiO}_3)=1.00 \text{ mg/mL}$ ]：同 35.1.2.5。

#### 35.2.2.7 偏硅酸标准工作溶液[ $\rho(\text{H}_2\text{SiO}_3)=10.0 \mu\text{g/mL}$ ]：吸取 10.0 mL 偏硅酸标准储备溶液于 1000 mL 容量瓶中，用水定容。

#### 35.2.2.8 对硝基酚指示剂(1 g/L)：同 35.1.2.7。

### 35.2.3 仪器和设备

#### 35.2.3.1 分光光度计。

#### 35.2.3.2 比色管，50 mL。

### 35.2.4 分析步骤

#### 35.2.4.1 试样测定

吸取适量水样（视偏硅酸含量而定）于 50 mL 比色管中，用水稀释至 50 mL（若水样为酸性，先加 3 滴对硝基酚指示剂，滴加氢氧化钠溶液至恰显黄色，再用水稀释至 50 mL），加 1.0 mL 盐酸溶液，2.0 mL 钼酸铵溶液，充分摇匀。放置 15 min（放置时间与温度有关，温度低于 20℃时放置 30 min，温度在 30℃～35℃时放置 10 min，温度高于 35℃时放置 5 min）。

加入 2.0 mL 草酸溶液，充分摇匀，放置 2 min～15 min，加入 2.0 mL 1,2,4-氨基萘酚磺酸溶液，充分摇匀。5 min 后，于波长 680 nm 处，用 1 cm 比色皿，以试剂空白作参比测量吸光度。

#### 35.2.4.2 校准曲线的绘制

吸取偏硅酸标准工作溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、4.00 mL、6.00 mL、8.00 mL 和 10.00 mL 于一系列 50 mL 比色管中，用水稀释至 50 mL。以下操作同 35.2.4.1。以偏硅酸质量( $\mu\text{g}$ )为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制校准曲线。

### 35.2.5 分析结果的表述

试样中偏硅酸含量按式（63）计算：

$$\rho(\text{H}_2\text{SiO}_3) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (63)$$

式中：

$\rho(\text{H}_2\text{SiO}_3)$ ——水样中偏硅酸的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得的比色管中偏硅酸的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

### 35.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 35.2.7 其他

本方法定量限为 0.1 mg/L。

## 36 氟化物

### 36.1 离子选择电极法

#### 36.1.1 原理

氟化镧单晶对氟化物离子有选择性，在氟化镧电极膜两侧的不同浓度氟溶液之间存在电位差，这种电位差通常称为膜电位。膜电位的大小与氟化物溶液的离子活度有关。氟电极与饱和甘汞电极组成一对原电池。利用电动势与离子活度负对数值的线性关系直接求出水样中氟离子浓度。

#### 36.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

36.1.2.1 冰乙酸( $\rho_{20}=1.06\text{ g/mL}$ )。

36.1.2.2 氢氧化钠溶液(400 g/L)：称取 40 g 氢氧化钠(NaOH)，溶于水中并稀释至 100 mL。

36.1.2.3 盐酸溶液(1+1)：将盐酸( $\rho_{20}=1.19\text{ g/mL}$ )与水等体积混合。

36.1.2.4 离子强度缓冲液 I：称取 348.2 g 柠檬酸三钠( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )，溶于水中。用盐酸溶液调节 pH 为 6 后，用水稀释至 1 000 mL。

36.1.2.5 离子强度缓冲液 II：称取 59 g 氯化钠(NaCl)，3.48 g 柠檬酸三钠( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )和 57 mL 冰乙酸，溶于水中，用氢氧化钠溶液调节 pH 为 5.0~5.5 后，用水稀释至 1 000 mL。

36.1.2.6 氟化物标准储备溶液[ $\rho(\text{F})=1\text{ mg/mL}$ ]：准确称取 0.2210 g 经 105 °C 干燥 2 h 的氟化钠(NaF)，溶解于水中，并定容至 100 mL。储存于聚乙烯瓶中。

36.1.2.7 氟化物标准工作溶液[ $\rho(\text{F})=10\text{ }\mu\text{g/mL}$ ]：吸取 5.00 mL 氟化物标准储备溶液于 500 mL 容量瓶中，用水稀释到刻度。

#### 36.1.3 仪器和设备

36.1.3.1 氟离子选择电极和饱和甘汞电极。

36.1.3.2 离子活度计或精密酸度计。

36.1.3.3 电磁搅拌器。

#### 36.1.4 分析步骤

##### 36.1.4.1 校准曲线法

36.1.4.1.1 吸取 10.0 mL 水样于 50 mL 烧杯中。若水样总离子强度高，应取适量水样稀释到 10 mL。

36.1.4.1.2 分别吸取氟化物标准工作溶液 0 mL、0.20 mL、0.40 mL、0.60 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL 于 50 mL 烧杯中，各加水至 10 mL。加入与水样相同的离子强度缓冲液 I 或离子强度缓冲液 II。此标准系列浓度分别为 0 mg/L、0.20 mg/L、0.40 mg/L、0.60 mg/L、1.00 mg/L、2.00 mg/L、3.00 mg/L (以 F 计)。

36.1.4.1.3 加 10 mL 离子强度缓冲液[若水样中干扰物质较多时用离子强度缓冲液 I，较清洁水样用离子强度缓冲液 II]。放入搅拌子于电磁搅拌器上搅拌水样溶液，插入氟离子电极和甘汞电极，在搅拌下读取平衡电位值(指每分钟电位值改变小于 0.5 mV，当氟化物浓度甚低时，约需 5 min 以上)。

36.1.4.1.4 以电位值(mV)为纵坐标，氟化物活度( $\rho(\text{F})=-\lg F$ )为横坐标，在半对数纸上绘制标准曲线。在标准曲线上查得水样中氟化物的质量浓度。

注：标准溶液系列与水样的测定应保持温度一致。

#### 36.1.4.2 标准加入法

吸取 50.0 mL 水样于 200 mL 烧杯中，加 50 mL 离子强度缓冲液[洁净水样加离子强度缓冲液 II，干扰物质较多的水样加离子强度缓冲液 I。以下步骤同 36.1.4.1.3 操作，读取平衡电位值( $E_1$ , mV)。

于水样中加入一小体积(小于 0.5 mL)的氟化物标准储备溶液，在搅拌下读取平衡电位值( $E_2$ , mV)。

注： $E_1$  与  $E_2$  应相差 30 mV~40 mV。

#### 36.1.5 分析结果的表述

##### 36.1.5.1 校准曲线法

氟化物质量浓度( $F$ , mg/L) 可直接在校准曲线上查得。

##### 36.1.5.2 标准加入法

试样中氟化物 ( $F$ ) 含量按式 (64) 计算：

$$\rho(F^-) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V_2} \cdot \frac{1}{\lg^{-1} \frac{E_2 - E_1}{k} - 1} \quad \dots\dots\dots (64)$$

式中：

$\rho(F^-)$ ——水样中氟化物( $F^-$ )的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1$ ——加入标准储备溶液的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$V_1$ ——加入标准储备溶液的体积，单位为毫升 (mL)；

$V_2$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

$K$ ——测定水样的温度  $t^\circ\text{C}$  时的斜率，其值为  $0.1985(273+t)$ 。

#### 36.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 36.1.7 其他

本方法定量限为 0.2 mg/L。

### 36.2 氟试剂双波长光谱法

#### 36.2.1 原理

氟化物与氟试剂和硝酸镧反应，生成蓝色络合物，颜色深度与氟离子浓度在一定范围内成线性关系。当 pH 为 4.5 时，生成的颜色可稳定 24 h。本法采用双波长分光光度测定，可以消除试剂背景影响，提高灵敏度，节约 80% 的化学试剂用量，减少对环境的污染。

#### 36.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

36.2.2.1 硫酸( $\rho_{20}=1.84$  g/mL)。

36.2.2.2 硫酸银( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ )。

36.2.2.3 丙酮。

36.2.2.4 氢氧化钠溶液(40 g/L)。

36.2.2.5 盐酸溶液(1+11)。

36.2.2.6 缓冲溶液:称取 85 g 乙酸钠( $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )，溶于 800 mL 水中。加入 60 mL 冰乙酸 ( $\rho_{20}=1.06$  g/mL)，用水稀释至 1 000 mL。此溶液的 pH 值应为 4.5，否则用乙酸或乙酸钠调节 pH 至 4.5。

36.2.2.7 硝酸镧溶液:准确称取 0.433 g 硝酸镧[ $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ]，加数滴盐酸溶液溶解。加水至 500 mL。

36.2.2.8 氟试剂溶液:准确称取 0.385 g 氟试剂( $\text{C}_{19}\text{H}_{15}\text{NO}_8$ ，又名茜素氨羧络合剂或 1, 2-羧基蒽醌-3-甲

基 N, N-二乙酸), 放于少量水中, 加数滴氢氧化钠溶液使之溶解。然后加入 0.125 g 乙酸钠 ( $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), 并加水至 500 mL。储存于棕色瓶内, 保存在冷暗处。

36.2.2.9 氟化物标准储备溶液 [ $\rho(\text{F}^-) = 1 \text{ mg/mL}$ ]: 准确称取 0.2210 g 经 105 °C 干燥 2 h 的氟化钠 ( $\text{NaF}$ ), 溶于水中, 并定容至 100 mL。储存于聚乙烯瓶中。

36.2.2.10 氟化物标准工作溶液 [ $\rho(\text{F}^-) = 1 \mu\text{g/mL}$ ]: 吸取 5.00 mL 氟化物标准储备溶液, 于 500 mL 容量瓶中用水稀释至刻度, 摇匀。再吸取该溶液 10.00 mL 于 100 mL 容量瓶中, 用水定容至刻度, 摇匀。

36.2.2.11 酚酞溶液 (1 g/L): 称取 0.1 g 酚酞 ( $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ) 溶于 100 mL 乙醇 [ $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 95\%$ ] 中。

### 36.2.3 仪器和设备

36.2.3.1 全玻璃蒸馏器: 1 000 mL。

36.2.3.2 具塞比色管: 10 mL。

36.2.3.3 分光光度计。

### 36.2.4 分析步骤

#### 36.2.4.1 水样预处理

水样中有干扰物质时, 需将水样在全玻璃蒸馏器(图 4)中蒸馏。将 400 mL 水置于 1 000 mL 蒸馏瓶中, 缓缓加入 200 mL 硫酸, 混匀, 放入 20 粒~30 粒玻璃珠, 加热蒸馏至液体温度升高到 180 °C 时止。弃去馏出液, 待瓶内液体温度冷却至 120 °C 以下, 加入 250 mL 水样。若水样中含有氯化物, 蒸馏前可按每毫克氯离子加入 5 mg 硫酸银的比例, 加入固体硫酸银。加热蒸馏至瓶内温度接近至 180 °C 时为止。收集馏液于 250 mL 容量瓶中, 加水至刻度。

注 1: 蒸馏水样时, 勿使温度超过 180 °C, 以防硫酸过多地蒸出。

注 2: 连续蒸馏几个水样时, 可待瓶内硫酸溶液温度降低至 120 °C 以下, 再加入另一个水样。蒸馏过一个含氟高的水样后, 应在蒸馏另一个水样前加入 250 mL 水。用同法蒸馏, 以清除可能存留在蒸馏器中的氟化物。

注 3: 蒸馏瓶中的硫酸可以多次使用, 直至变黑为止。

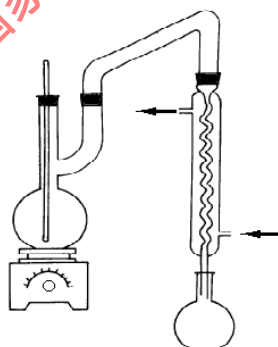


图 4 氟化物蒸馏装置

#### 36.2.4.2 测定

吸取 5.0 mL 澄清水样或经蒸馏法预处理的水样, 置于 10 mL 比色管中。如水中氯化物大于 50  $\mu\text{g}$ , 可取适量, 用水稀释至 5.0 mL。

另吸取氟化物标准工作溶液 0 mL、0.25 mL、0.50 mL、1.00 mL、3.00 mL 及 5.00 mL, 分别置于 10 mL 比色管中, 各加水至 5.00 mL。

向试样管和标准系列管各加入 1 mL 氟试剂溶液, 及 1 mL 缓冲液, 混匀(由于反应生成的蓝色三元络合物随 pH 增高而变深, 为使标准与试样的 pH 值一致, 必要时可用酚酞指示剂调节 pH 到中性后再加入缓冲液, 使各管的 pH 均在 4.1~4.6 之间)。缓缓加入 1 mL 硝酸镧溶液, 摇匀。加入 2 mL 丙酮, 加水至 10 mL 刻度, 摇匀。在室温放置 60 min。用 1 cm 比色皿, 以空气为参比, 分别在波长 450 nm 处和波

长 630 nm 处测定试剂空白管、标准管和试样管的吸光度。

#### 36.2.4.3 K 值的确定

令  $\lambda_1=450$  nm 和  $\lambda_2=630$  nm, 根据试剂空白在两波长下的吸光度 (A), 按式 (65) 求 K 值:

$$K = \frac{A_{\lambda_1}}{A_{\lambda_2}} \quad \dots\dots\dots (65)$$

按式 (66) 求出  $\Delta A$ :

$$\Delta A = KA_{\lambda_2} - A_{\lambda_1} = KA_{630} - A_{450} \quad \dots\dots\dots (66)$$

根据 F 质量和  $\Delta A$  绘制校准曲线, 从曲线上查出氟化物质量。

#### 36.2.5 分析结果的表述

试样中氟化物含量按式 (67) 计算:

$$\rho(\text{F}^-) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (67)$$

式中:

$\rho(\text{F}^-)$  ——水样中氟化物的质量浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);

$m$  ——在校准曲线上查得氟化物的质量, 单位为微克 ( $\mu\text{g}$ );

$V$  ——水样体积, 单位为毫升 (mL);

1 000 ——单位换算系数。

#### 36.2.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 36.2.7 其他

本方法定量限为 0.05 mg/L。

### 36.3 氟试剂光谱法

#### 36.3.1 原理

氟化物与氟试剂和硝酸镧反应, 生成蓝色络合物, 颜色深度与氟离子浓度在一定范围内成线性关系。当 pH 为 4.5 时, 生成的颜色可稳定 24 h。

#### 36.3.2 试剂和材料

氟化物标准工作溶液 [ $\rho(\text{F}^-) = 10 \mu\text{g/mL}$ ]: 吸取 5.00 mL 氟化物标准储备溶液, 于 500 mL 容量瓶中用水稀释至刻度。

除氟化物标准工作溶液外, 其余试剂同 36.2.2。

#### 36.3.3 仪器和设备

同 36.2.3。

#### 36.3.4 水样预处理

同 36.2.4.1。

#### 36.3.5 测定

吸取 25.0 mL 澄清水样或经蒸馏法预处理的水样, 置于 50 mL 比色管中。如水中氟化物大于 50  $\mu\text{g}$ , 可取适量, 用水稀释至 25 mL。

另吸取氟化物标准工作溶液 0 mL、0.25 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL 及 5.00 mL, 分别置于 50 mL 比色管中, 各加水至 25 mL。

向试样管和标准系列管各加入 5 mL 氟试剂溶液及 2 mL 缓冲液, 混匀 (由于反应生成的蓝色三元络合物随 pH 增高而变深, 为使标准与试样的 pH 值一致, 必要时可用酚酞指示剂调节 pH 到中性后再加入

缓冲液，使各管的 pH 均在 4.1~4.6 之间。)

缓缓加入 5 mL 硝酸镧溶液，摇匀。加入 10 mL 丙酮，加水至 50 mL 刻度，摇匀。在室温放置 60 min。于波长 620 nm 处，用 1 cm 比色皿，以水参比，测定吸光度。绘制校准曲线，从曲线上查出氟化物质量。

### 36.3.6 分析结果的表述

试样中氟化物含量按式 (68) 计算。

$$\rho(\text{F}^-) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (68)$$

式中：

$\rho(\text{F}^-)$  ——水样中氟化物的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$  ——在校准曲线上查得氟化物的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$  ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

### 36.3.7 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 36.3.8 其他

本方法定量限为 0.1 mg/L。

## 36.4 离子色谱法

### 36.4.1 原理

水样注入仪器后，在淋洗液的携带下流经阴离子分离柱。由于水样中各种阴离子对分离柱中阴离子交换树脂的亲合力不同，移动速度亦不同，从而使彼此得以分离。随后流经阴离子抑制器，淋洗液被转变成水或碳酸，使背景电导降低。最后通过电导检测器，依次输出  $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Br}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  的电导信号值(峰高或峰面积)。通过与标准比较，可做定性和定量分析。

### 36.4.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为优级纯，水为 GB/T 6682 规定的一级水。

36.4.2.1 淋洗液：由淋洗液自动电解发生器（或其它能自动电解产生淋洗液的设备）在线产生或自行配制氢氧化钾（或氢氧化钠）淋洗液。

36.4.2.2 再生液：根据抑制器类型选择合适的再生液。

36.4.2.3 氟化物标准储备溶液 [ $\rho(\text{F}^-) = 1.000 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 2.210 g 在干燥器中干燥过的氟化钠(NaF)，溶于少量淋洗使用液中，移入 1 000 mL 容量瓶，用淋洗使用液定容。贮于聚乙烯瓶中，冰箱内保存。

36.4.2.4 氯化物标准储备溶液 [ $\rho(\text{Cl}^-) = 1.000 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.648 g 于 500 °C~600 °C 灼烧至恒重的氯化钠(NaCl)，溶于少量淋洗使用液中，移入 1 000 mL 容量瓶，用淋洗使用液定容。贮于聚乙烯瓶中，冰箱内保存。

36.4.2.5 溴化物标准储备溶液 [ $\rho(\text{Br}^-) = 1.000 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.489 g 在干燥器中干燥过的溴化钾(KBr)，溶于少量淋洗使用液中，移入 1 000 mL 容量瓶，用淋洗使用液定容。贮于聚乙烯瓶中，冰箱内保存。

36.4.2.6 硝酸盐标准储备溶液 [ $\rho(\text{NO}_3^-) = 1.000 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.631 g 于 120 °C~130 °C 干燥至恒重的硝酸钾(KNO<sub>3</sub>)，溶于少量淋洗使用液中，移入 1 000 mL 容量瓶，用淋洗使用液定容。贮于聚乙烯瓶中，冰箱内保存。

36.4.2.7 硫酸盐标准储备溶液 [ $\rho(\text{SO}_4^{2-}) = 1.000 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.814 g 于 105 °C 干燥过 2 h 的硫酸钾(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)，溶于少量淋洗液中，移入 1 000 mL 容量瓶，用淋洗液定容。贮于聚乙烯瓶中，冰箱内保存。

36.4.2.8 混合标准工作溶液：分别吸取已放置至室温的氟化物、氯化物、溴化物、硝酸盐、硫酸盐标准储备溶液 2.00 mL、24.0 mL、3.20 mL、20.0 mL 和 24.0 mL 于 1 000 mL 容量瓶中，用淋洗液定容。此溶液氟化物、氯化物、溴化物、硝酸盐、硫酸盐的质量浓度分别为 2.00 mg/L、24.0 mg/L、3.20 mg/L、20.0 mg/L 和 24.0 mg/L。

## 36.4.3 仪器和设备

## 36.4.3.1 离子色谱仪。

## 36.4.3.1.1 阴离子分离柱。

## 36.4.3.1.2 阴离子保护柱。

## 36.4.3.1.3 阴离子抑制器。

## 36.4.3.1.4 电导检测器。

## 36.4.3.2 数据工作站。

## 36.4.3.3 进样器：5 mL 或 10 mL。

## 36.4.4 分析步骤

## 36.4.4.1 水样预处理

水样经 0.22 μm 滤膜过滤，待测。

## 36.4.4.2 试样测定

## 36.4.4.2.1 色谱条件

柱温：室温。

淋洗液流量：1.0 mL/min。

进样量：100 μL。

电导检测器灵敏度：根据待测离子含量设定。

36.4.4.2.2 定性分析：用注射器注入 1 mL~2 mL 待测试样，记录色谱图。根据保留时间确定离子种类，出峰顺序为 F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Br<sup>-</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。

36.4.4.2.3 定量分析：测量各离子对应的峰高(或峰面积)，用外标法定量。

## 36.4.4.3 校准曲线的绘制

分别吸取混合标准工作溶液 0 mL、2.50 mL、5.00 mL、10.0 mL、25.0 mL、50.0 mL 于 6 个 100 mL 容量瓶中，用淋洗使用液定容，摇匀。所配制标准系列各离子质量浓度见表 21。以下操作步骤同 36.4.4.2。

表 21 标准系列各离子质量浓度

离子 X <sup>z-</sup>	ρ(X <sup>z-</sup> ) / (mg/L)					
F <sup>-</sup>	0.00	0.050	0.100	0.200	0.500	1.00
Cl <sup>-</sup>	0.00	0.60	1.20	2.40	6.00	12.0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.00	0.080	0.160	0.320	0.800	1.60
Br <sup>-</sup>	0.00	0.50	1.00	2.00	5.00	10.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.00	0.60	1.20	2.40	6.00	12.0

以质量浓度为横坐标，峰高(或峰面积)为纵坐标，分别绘制 F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Br<sup>-</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的校准曲线。

## 36.4.5 分析结果的表述

水样中 F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Br<sup>-</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量按式 (69) 计算：

$$\rho(X^{z-}) = \frac{\rho_1}{0.9} \dots\dots\dots (69)$$

式中：

ρ(X<sup>z-</sup>)——水样中 F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Br<sup>-</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

ρ<sub>1</sub>——从校准曲线上查得试样中 F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Br<sup>-</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

0.9——稀释水的校正系数。

## 36.4.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

## 36.4.7 其他

若进样 100  $\mu\text{L}$  测定，则定量限为 F，0.01 mg/L； $\text{Cl}^-$ ，0.1 mg/L； $\text{Br}^-$ ，0.05 mg/L； $\text{NO}_3^-$ ，0.05 mg/L； $\text{SO}_4^{2-}$ ，0.2 ng/L。

## 37 氯化物

### 37.1 硝酸银容量法

#### 37.1.1 原理

硝酸银与氯化物生成氯化银沉淀，过量的硝酸银与铬酸钾指示剂反应生成红色铬酸银沉淀，指示反应到达终点。

#### 37.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

##### 37.1.2.1 高锰酸钾。

##### 37.1.2.2 乙醇[ $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ ]。

##### 37.1.2.3 过氧化氢[ $\omega(\text{H}_2\text{O}_2)=30\%$ ]。

##### 37.1.2.4 氢氧化钠溶液(2g/L)：称取 0.2 g 氢氧化钠(NaOH)，溶于水并稀释至 100 mL。

##### 37.1.2.5 硫酸溶液[ $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)=0.05 \text{ mol/L}$ ]：吸取 2.8 mL 硫酸( $\rho_{20}=1.84 \text{ g/mL}$ ) 缓缓加入水中并稀释至 1000mL。

37.1.2.6 氢氧化铝悬浮液：称取 125 g 硫酸铝钾[ $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ]或硫酸铝铵[ $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ]，溶于 1 000 mL 水中。加热至 60  $^\circ\text{C}$ ，缓缓加入 55 mL 氨水( $\rho_{20}=0.88 \text{ g/mL}$ )，使氢氧化铝沉淀完全。充分搅拌后静置，弃去上清液，用水反复洗涤沉淀，至倾出上清液中不含氯离子(用硝酸银溶液试验)为止。然后加入 300 mL 水成悬浮液，使用前振摇均匀。

37.1.2.7 铬酸钾溶液(50 g/L)：称取 5 g 铬酸钾( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ )，溶于少量水中，滴加硝酸银标准溶液至生成红色不褪为止，混匀，静置 24 h 后过滤，滤液用水稀释至 100 mL。

37.1.2.8 氯化钠标准溶液[ $\rho(\text{Cl}^-)=0.5 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 8.2420 g 经 700  $^\circ\text{C}$  烧灼 1 h 的氯化钠(NaCl)，溶于水并定容至 1 000 mL。再从此溶液中吸取 10.00 mL，用水定容至 100 mL。

37.1.2.9 硝酸银标准溶液[ $c(\text{AgNO}_3)=0.014 \text{ mol/L}$ ]：准确称取 2.4 g 硝酸银( $\text{AgNO}_3$ )，溶于水，并定容至 1 000 mL。储存于棕色试剂瓶内。用氯化钠标准溶液标定。

标定：吸取 25.00 mL 氯化钠标准溶液，置于瓷发蒸皿内，加 25 mL 水。另取一瓷蒸发皿，加 50 mL 水作为空白，各加 1 mL 铬酸钾溶液，用硝酸银标准溶液滴定，直至产生淡橘黄色为止。按式(70)计算硝酸银的浓度。

$$m = \frac{25 \times 0.50}{V_1 - V_0} \quad \dots\dots\dots (70)$$

式中：

$m$ ——1.00 mL 硝酸银标准溶液相当于氯化物( $\text{Cl}^-$ )的质量，单位为毫克 (mg)；

25——氯化钠标准溶液的体积，单位为毫升 (mL)；

0.50——氯化钠标准溶液的浓度，单位为毫克每毫升 (mg/mL)；

$V_0$ ——滴定空白的硝酸银标准溶液用量，单位为毫升 (mL)；

$V_1$ ——滴定氯化钠标准溶液的硝酸银标准溶液用量，单位为毫升 (mL)。

根据标定的浓度，校正硝酸银标准溶液的浓度，使 1.00mL 相当于氯化物 0.50mg (以  $\text{Cl}^-$  计)。

##### 37.1.2.10 酚酞指示剂(5 g/L)：称取 0.5 g 酚酞( $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ )，溶于 100 mL 乙醇[ $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ ]中。

#### 37.1.3 仪器和设备

##### 37.1.3.1 锥形瓶：250 mL。

37.1.3.2 滴定管：25 mL（棕色）。

37.1.3.3 无分度吸管：50 mL 和 25 mL。

#### 37.1.4 分析步骤

##### 37.1.4.1 水样预处理

37.1.4.1.1 对有色的水样：取 150 mL，置于 250 mL 锥形瓶中。加 2 mL 氢氧化铝悬浮液，振荡均匀，过滤，弃去初滤液 20 mL。

37.1.4.1.2 对含有亚硫酸盐和硫化物的水样：将水样用氢氧化钠溶液调节至中性或弱碱性，加入 1 mL 过氧化氢，搅拌均匀。

37.1.4.1.3 对耗氧量大于 15 mg/L 的水样：加入少许高锰酸钾晶体，煮沸，然后加入数滴乙醇还原过多的高锰酸钾，过滤。

##### 37.1.4.2 测定

37.1.4.2.1 吸取 50.0 mL 水样或经过预处理的水样（或适量水样加水稀释至 50 mL）。置于瓷蒸发皿内，另取一瓷蒸发皿，加入 50 mL 水，作为空白。

37.1.4.2.2 分别加入 2 滴酚酞指示剂，用硫酸溶液或氢氧化钠溶液调节至溶液红色恰好褪去。各加 1 mL 铬酸钾溶液，用硝酸银标准溶液滴定，同时用玻璃棒不停搅拌，直至溶液生成橘黄色为止。

注 1：本法只能在中性溶液中进行滴定，因为在酸性溶液中铬酸银溶解度增高，滴定终点时，不能形成铬酸银沉淀。在碱性溶液中将形成氧化银沉淀。

注 2：铬酸钾指示终点的最佳浓度为  $1.3 \times 10^{-2}$  mol/L。但由于铬酸钾的颜色影响终点的观察，实际使用的浓度为 50 mL 试样中加入 1 mL 铬酸钾溶液（50 g/L），其浓度为  $5.1 \times 10^{-3}$  mol/L。同时用空白滴定值予以校正。

#### 37.1.5 分析结果的表述

试样中氯化物含量按式（71）计算：

$$\rho(\text{Cl}^-) = \frac{(V_1 - V_2) \times 0.50 \times 1000}{V} \dots\dots\dots (71)$$

式中：

$\rho(\text{Cl}^-)$ ——水样中氯化物的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

0.50——氯化钠标准溶液的浓度，单位为毫克每毫升（mg/mL）；

1 000——毫升到升的换算系数。

$V_0$ ——空白试验消耗硝酸银标准溶液体积，单位为毫升（mL）；

$V_1$ ——水样消耗硝酸银标准溶液体积，单位为毫升（mL）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）。

#### 37.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 37.1.7 其他

本方法定量限为 1.0 mg/L。

### 37.2 离子色谱法

同 36.4。

## 38 碘化物

### 38.1 催化还原光谱法

#### 38.1.1 原理

在酸性条件下，亚砷酸与硫酸高铈发生缓慢的氧化还原反应。当有碘离子存在时，由于它的催化作

用使反应加速进行。反应速度随碘离子含量增高而变快，剩余的高铈离子就越少。用亚铁离子还原剩余的高铈离子，终止亚砷酸-高铈间的氧化还原反应。氧化产生的铁离子与硫氰酸钾反应生成红色络合物，比色定量。间接测定碘化物的含量。

### 38.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

38.1.2.1 氯化钠溶液(260 g/L)：称取 26 g 经 700 °C 灼烧 2 h 的优级纯氯化钠(NaCl)，溶于水并稀释至 100 mL。

38.1.2.2 亚砷酸溶液(4.946 g/L)：准确称取 4.946 g 三氧化二砷( $\text{As}_2\text{O}_3$ )，必要时三氧化二砷可按下法精制——将三氧化二砷研细，加入 25 mL 重蒸馏的乙醇，搅拌后弃去上部乙醇溶液。同法反复洗涤晶体 10~15 次。于 80 °C 烘干，备用]，加 500 mL 水，10 滴硫酸( $\rho_{20}=1.84 \text{ g/mL}$ )，加热使全部溶解。用水稀释至 1 000mL。

注：此溶液剧毒！

38.1.2.3 硫酸溶液(1+3)。

38.1.2.4 硫酸铈溶液 [ $c[\text{Ce}(\text{SO}_4)_2]=0.02 \text{ mol/L}$ ]：准确称取 8.086 g 硫酸铈 $[\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 或 12.65 g 硫酸铈铵 $[\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 溶于 500 mL 水中，加 44 mL 硫酸( $\rho_{20}=1.84 \text{ g/mL}$ )，用水稀释至 1 000 mL。

38.1.2.5 硫酸亚铁铵溶液(15 g/L)：称取 1.5 g 硫酸亚铁铵 $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ ，溶于水中，加入 2.5 mL 硫酸溶液(38.1.2.3)，并用水稀释至 100 mL。临用前配制。

38.1.2.6 硫氰酸钾溶液(40 g/L)：称取 4.0 g 硫氰酸钾(KSCN)溶于水中，并稀释至 100 mL。

38.1.2.7 碘化物标准储备溶液 $[\rho(\text{I})=100 \mu\text{g/mL}]$ ：准确称取 0.1308 g 经硅胶干燥器干燥 24 h 的碘化钾(KI)，溶于水中，并定容至 1 000 mL。

38.1.2.8 碘化物标准工作溶液 I  $[\rho(\text{I})=1 \mu\text{g/mL}]$ ：临用时，吸取 5.00 mL 碘化物标准储备溶液于 500 mL 容量瓶中，用水稀释到刻度。

38.1.2.9 碘化物标准工作溶液 II  $[\rho(\text{I})=0.01 \mu\text{g/mL}]$ ：临用时，吸取 5.00 mL 碘化物标准工作溶液 I 于 500 mL 容量瓶中，用水定容到刻度。

### 38.1.3 仪器和设备

38.1.3.1 分光光度计。

38.1.3.2 恒温水浴：控温精度 $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

38.1.3.3 秒表。

38.1.3.4 具塞比色管：25 mL。临用前清洗，并注意防止铁的污染。

### 38.1.4 分析步骤

38.1.4.1 低浓度范围(1.0  $\mu\text{g/L}$ ~10  $\mu\text{g/L}$ )的测定

按表 22 配制标准系列、水样及 A、B 管，并向各管加入试剂。摇匀后，置于 30 °C  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  恒温水浴中 20 min，使温度达到平衡。

表 22 碘化物测定各管试剂加入量(单位为毫升)

管号	碘化物标准 使用溶液 II (38.1.2.10)	水样	水 (38.1.2.1)	氯化钠溶液 (38.1.2.2)	亚砷酸溶液 (38.1.2.3)	硫酸溶液 (38.1.2.4)
标准 1	1.00	0	9.0	1.0	0.5	1.0
标准 2	3.00	0	7.0	1.0	0.5	1.0
标准 3	5.00	0	5.0	1.0	0.5	1.0
标准 4	7.00	0	3.0	1.0	0.5	1.0
标准 5	10.00	0	0	1.0	0.5	1.0

表 22 (续)

管号	碘化物标准 使用溶液 II (38.1.2.10)	水样	水 (38.1.2.1)	氯化钠溶液 (38.1.2.2)	亚砷酸溶液 (38.1.2.3)	硫酸溶液 (38.1.2.4)
标准 6	0	0	10.0	1.0	0.5	1.0
试样	0	10.0	0	1.0	0.5	1.0
B 管	0	10.0	0.5	1.0	0	1.0
A 管	0	0	10.5	1.0	0	1.0

按下秒表计时，每隔 30 s，依次向各管加 0.50 mL 硫酸铈溶液，密塞迅速摇匀，放回水浴中保温。于水浴中放置 20 min±0.1 min 后，每隔 30 s，依次向各管加 1.00 mL 硫酸亚铁铵溶液，密塞迅速摇匀，放回水浴中。随后每隔 30 s，依次向各管加 1.00 mL 硫氰酸钾溶液，在室温放置 45 min，于波长 510 nm 处，用 1 cm 比色皿，以水作参比，测量吸光度。绘制校准曲线。

注 1：每管加硫酸铈溶液到加硫酸亚铁铵溶液的间隔均为 20 min±0.1 min。

注 2：校准曲线呈向下弯曲，并不呈良好线性。因此校准曲线应与试样分析同时操作。用吸光度与浓度直接作图。不对曲线进行回归处理，防止产生误差。以吸光度对数值作图，可得直线关系的校准曲线。注 3：在测定低浓度碘化物水样时应经过 A、B 管的校正，以消除由于水样中氧化还原物质对测定的干扰。当 A 管吸光度大于 B 管时，说明水样中有还原性物质还原部分高铈离子。或所生成的高铁离子，使比色液变浅，应将水样测得的吸光度加上 (A-B)。以校正由还原性物质造成的误差。当 B 管吸光度大于 A 时，水样中可能存在氧化性物质的干扰，因此将水样的吸光度减去 (B-A)。

#### 38.1.4.2 高浓度范围(10 µg/L~100 µg/L)的测定

校准曲线绘制：吸取碘化物标准工作溶液 1.0 mL、1.00 mL、3.00 mL、5.00 mL、7.00 mL、10.00 mL 分别于 25 mL 具塞比色管中，加水至 10.0 mL，以下操作同 38.1.4.1。

取水样 10.0 mL，以下操作同 38.1.4.1。

注：高浓度范围的分析，恒温水浴温度为 (20 °C±0.5 °C，反应时间为 8 min，不必作 A、B 管的测定。

#### 38.1.5 分析结果的表述

试样中碘化物 (I<sup>-</sup>) 含量按式 (72) 计算：

$$\rho(I^-) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (72)$$

式中：

$\rho(I^-)$ ——水样中碘化物(I<sup>-</sup>)的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得试样中碘化物的质量，单位为微克 (µg)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

#### 38.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 38.1.7 其他

本方法定量限为 1 µg/L(I<sup>-</sup>)。

### 38.2 气相色谱法

#### 38.2.1 原理

在酸性条件下，水样中的碘化物与重铬酸钾发生氧化还原反应析出碘，它与丁酮生成 3-碘-2-丁酮，用气相色谱法电子捕获检测器进行定量测定。

#### 38.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

38.2.2.1 水(无碘化物): 将蒸馏水按每升加 2 g 氢氧化钠后重蒸馏。

38.2.2.2 硫酸溶液 $[c(\text{H}_2\text{SO}_4)=2.5 \text{ mol/L}]$ : 量取 139 mL 硫酸( $\rho_{20}=1.84 \text{ g/mL}$ , 优级纯), 缓慢地加到 500 mL 水中, 并稀释至 1 000 mL。

38.2.2.3 重铬酸钾溶液(0.5 g/L)。

38.2.2.4 丁酮: 重蒸馏, 收集 79 °C~80 °C 馏份。

38.2.2.5 环己烷: 重蒸馏, 收集 80 °C~81 °C 馏份。

38.2.2.6 硫代硫酸钠溶液(0.5 g/L)。

38.2.2.7 无水硫酸钠: 600 °C 烘烤 4 h, 冷却后密封保存。

38.2.2.8 碘化钾(优级纯)。

38.2.2.9 碘化物标准储备溶液 $[\rho(\text{I})=100 \mu\text{g/mL}]$ : 准确称取 0.1308 g 预先在 110 °C 烘干至恒量的碘化钾, 加水溶解, 并定容至 1 000 mL。

38.2.2.10 碘化物标准工作溶液 $[\rho(\text{I})=0.1 \mu\text{g/mL}, \rho(\text{I})=0.01 \mu\text{g/mL}]$ : 临用时将碘化物标准储备溶液用水稀释而成。

### 38.2.3 仪器和设备

38.2.3.1 气相色谱仪。

38.2.3.2 电子捕获检测器。

38.2.3.3 记录仪: 满量程 1 mV。

38.2.3.4 微量注射器: 10  $\mu\text{L}$ 。

38.2.3.5 分液漏斗: 60 mL。

38.2.3.6 氮气钢瓶: 高纯氮(99.999%)。

### 38.2.3.7 色谱条件

a) 色谱柱类型: 硬质玻璃填充柱, 长 2 m, 内径 3 mm。

b) 填充物

载体: Chromosorb WAW DMCS 80 目~100 目。固定液及含量: OV-17(0.5%)+OV-210(3.0%)。

c) 涂渍固定液的方法: 根据载体的重量称取一定量的 OV-17 和 OV-210 溶解于丙酮中并加入载体。在红外灯下挥去溶剂, 按普通方法装柱。

d) 色谱柱老化: 将填充好的色谱柱装机(不接检测器), 通氮气于 220 °C 连续老化 48 h。

### 38.2.4 分析步骤

#### 38.2.4.1 试样处理

水样采集及储存方法: 用玻璃瓶采集水样, 尽快测定。

水样预处理: 取 10 mL 水样于 60 mL 分液漏斗中, 加 0.2 mL 硫代硫酸钠溶液, 混匀, 加 0.1 mL 硫酸溶液, 加入 0.5 mL 丁酮, 混匀。加入 1 mL 重铬酸钾, 振荡 1 min, 放置 10 min, 加入 10.0 mL 环己烷, 振荡萃取 2 min, 弃去水相, 用水洗涤环己烷萃取液 2 次, 每次 5 mL, 弃去水相, 环己烷萃取液经无水硫酸钠脱水干燥后收集于 10 mL 具塞比色管中供色谱测定。

#### 38.2.4.2 仪器工作条件

a) 气化室温度: 230 °C。

b) 柱温: 100 °C。

c) 检测器温度: 230 °C。

d) 载气流速( $\text{N}_2$ ): 35 mL/min。

e) 衰减: 根据试样中被测组分含量调节记录器衰减。

#### 38.2.4.3 校准

38.2.4.3.1 定量分析中的校准方法: 外标法。

38.2.4.3.2 标准试样

- a)使用次数：每次分析试样时用新标准工作溶液绘制校准曲线；
- b)标准试样制备；
- c) 碘化物标准储备溶液[ $\rho(\text{I}^-)=100 \mu\text{g/mL}$ ]：准确称取 0.1308 g 预先在 110 °C 烘干至恒量的碘化钾，加水溶解，并定容至 1 000 mL；
- d) 碘化物标准工作溶液[ $\rho(\text{I}^-)=0.1 \mu\text{g/mL}$ ， $\rho(\text{I}^-)=0.01 \mu\text{g/mL}$ ]：临用时将碘化物标准储备溶液 c 用水稀释而成。

#### 38.2.4.3.3 校准曲线的绘制

取 6 个 60 mL 分液漏斗，分别加入碘化物标准工作溶液(水样中碘化物的含量 1  $\mu\text{g/L}$ ~10  $\mu\text{g/L}$  时，使用 0.01  $\mu\text{g/mL}$  的碘化物标准工作溶液；水样中碘化物含量在 10  $\mu\text{g/L}$ ~100  $\mu\text{g/L}$  时，使用 0.1  $\mu\text{g/mL}$  的碘化物标准工作溶液)0 mL、1.0 mL、3.0 mL、5.0 mL、7.0 mL、10.0mL，补加水至 10mL，分别向各分液漏斗中加 0.2 mL 硫代硫酸钠溶液，以下操作同 38.2.4.1。

分别取 5  $\mu\text{L}$  环己烷萃取液进行色谱分析，测定碘丁酮色谱峰高，以峰高为纵坐标，碘化物质量为横坐标，绘制校准曲线。

#### 38.2.4.4 测定

38.2.4.4.1 进样：以注射器人工进样，取 5  $\mu\text{L}$  待测试样注入色谱仪。

38.2.4.4.2 记录：以标样核对，记录色谱峰的保留时间及对应化合物。

38.2.4.4.3 色谱图的考察

- a) 标准色谱图：见图 5。



- 1—溶剂；  
2—碘丁酮。

图 5 碘丁酮标准色谱图

b) 定性分析

- 1) 组分出峰顺序：溶剂峰；碘丁酮峰；
- 2) 保留时间：碘丁酮，1.35 min。

c) 定量分析

色谱峰高的测定：连接峰的起点和终点作为峰底，从峰高的最大值对基线作垂线为峰高。单位为毫米 (mm)。

#### 38.2.5 分析结果的表述

试样中碘化物( $\text{I}^-$ )含量按式 (73) 计算：

$$\rho(\text{I}^-) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (73)$$

式中：

$\rho(\text{I}^-)$ ——水样中碘化物( $\text{I}^-$ )的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——用试样峰高在校准曲线上查得碘化物的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）

1 000——单位换算系数。

### 38.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 38.2.7 其他

本方法定量限为 1  $\mu\text{g/L}$ 。

## 38.3 离子色谱法

### 38.3.1 原理

水样注入仪器后，在淋洗液的携带下流经阴离子分离柱，由于水样中各种阴离子对分离柱中阴离子交换树脂的亲合力不同，移动速度亦不同，从而使碘化物与其他离子得以分离。分离出来的碘离子流经脉冲安培检测器，在一定的电极电位下，发生电极反应，所产生的电流强度在一定浓度范围内与碘离子含量成正比。

### 38.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的一级水。

38.3.2.1 氢氧化钠溶液（4 g/L）：称取 2 g 氢氧化钠，加水溶解后，稀释至 500 mL。

38.3.2.2 淋洗液：由淋洗液自动电解发生器（或其它能自动电解产生淋洗液的设备）在线产生或自行配制氢氧化钾（或氢氧化钠）淋洗液。

38.3.2.3 碘化物标准储备溶液 $[\rho(\text{I})=100 \mu\text{g/mL}]$ ：同 38.1.2.7。

38.3.2.4 碘化物标准工作溶液 I  $[\rho(\text{I})=1 \mu\text{g/mL}]$ ：同 38.1.2.8。

38.3.2.5 碘化物标准工作溶液 II  $[\rho(\text{I})=0.01 \mu\text{g/mL}]$ ：同 38.1.2.9。

### 38.3.3 仪器和设备

#### 38.3.3.1 离子色谱仪

- a) 阴离子保护柱。
- b) 阴离子分离柱。
- c) 安培检测器：配有银电极。

#### 38.3.3.2 记录仪

### 38.3.4 分析步骤

#### 38.3.4.1 色谱条件

- a) 柱温：室温。
- b) 淋洗液流量：1.0 mL/min，可根据实际情况调整。
- c) 进样量：100  $\mu\text{L}$ 。
- d) 安培检测器施加电位：+0.26 V。

#### 38.3.4.2 试样测定

用注射器注入 1 mL~2 mL 水样，记录色谱图。根据保留时间定性，测量峰高用外标法定量。

#### 38.3.4.3 校准曲线的绘制

吸取碘化物标准工作溶液 II (38.3.2.5) 0 mL、2.50 mL、5.00 mL、10.00 mL、25.00 mL、50.00 mL 或碘化物标准工作溶液 I (38.3.2.4) 1.00 mL、5.00 mL、10.00 mL 于一系列 100 mL 容量瓶中，用水稀释至接近刻度，滴加氢氧化钠溶液至 pH=7，用水定容至刻度。此标准系列碘含量分别为 0.00  $\mu\text{g/L}$ 、0.25  $\mu\text{g/L}$ 、0.50  $\mu\text{g/L}$ 、1.00  $\mu\text{g/L}$ 、2.50  $\mu\text{g/L}$ 、5.00  $\mu\text{g/L}$ 、10.00  $\mu\text{g/L}$ 、50.00  $\mu\text{g/L}$ 、100.0  $\mu\text{g/L}$ 。以下操作同 38.3.4.2。

以碘化物质量浓度（ $\mu\text{g/L}$ ）为横坐标，峰高为纵坐标，绘制校准曲线。

### 38.3.5 分析结果的表述

试样中碘化物（I）含量按式（74）计算：

$$\rho(I^-) = \frac{\rho_1(I^-)}{1000} \dots\dots\dots (74)$$

式中：

$\rho(I^-)$ ——水样中碘化物(I<sup>-</sup>)的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1(I^-)$ ——从校准曲线上查得水样中碘化物(I<sup>-</sup>)的质量浓度，单位为微克 (μg/L)；

1000——微克到毫克的换算系数。

### 38.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 38.3.7 其他

本方法定量限为 10.25 μg/L。

## 38.4 高浓度碘化物比色法

### 38.4.1 原理

向酸化的水样中加入过量溴水，碘化物被氧化为碘酸盐。用甲酸钠除去过量的溴，剩余的甲酸钠在酸性溶液中加热成为甲酸挥发逸失，冷却后加入碘化钾析出碘。加入淀粉生成蓝紫色复合物，比色定量。

### 38.4.2 试剂和材料

注：除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

38.4.2.1 磷酸( $\rho_{20}=1.69$  g/L)。

38.4.2.2 饱和溴水：吸取约 2 mL 溴，加入水 100 mL，摇匀，保存于冰箱中。

38.4.2.3 碘化钾溶液(10 g/L)：临时配制。

38.4.2.4 甲酸钠溶液(200 g/L)。

38.4.2.5 碘化物标准储备溶液[ $\rho(I^-)=100$  μg/mL]：准确称取 0.1308 g 于硅胶干燥器中放置 24 h 的碘化钾 (KI，优级纯)，溶于水中，并定容至 1 000 mL。

38.4.2.6 碘化物标准工作溶液[ $\rho(I^-)=1$  μg/mL]：临用前将碘化物标准储备溶液用水稀释而成。

38.4.2.7 淀粉溶液(0.5 g/L)：称取 0.05 g 可溶性淀粉，加入少量水润湿。倒入煮沸的水中，并稀释至 100 mL。冷却备用。临时配制。

### 38.4.3 仪器和设备

38.4.3.1 分光光度计。

38.4.3.2 具塞比色管：25 mL。

### 38.4.4 分析步骤

吸取 10.0 mL 水样于 25 mL 具塞比色管中。另取 25 mL 具塞比色管 8 支，分别加入碘化物标准工作溶液 0 mL、0.5 mL、1.0 mL、2.0 mL、4.0 mL、6.0 mL、8.0 mL 和 10.0 mL，并用水稀释至 10 mL 刻度。

于各管中分别加入 3 滴磷酸，再滴加饱和溴水至呈淡黄色稳定不变，置于沸水浴中加热 2 min，不褪色为止。向各管滴加甲酸钠溶液 2 滴~3 滴，放入原沸水浴中 2 min，取出冷却。

向各管加 1.0 mL 碘化钾溶液，混匀，于暗处放置 15 min 后，各加 10 mL 淀粉溶液。15 min 后加水至 25 mL 刻度，混匀，于波长 570 nm 处，用 2 cm 比色皿，以水为参比，测定吸光度。绘制校准曲线，从校准曲线上查出碘化物的质量。

### 38.4.5 分析结果的表述

试样中碘化物 (I<sup>-</sup>) 含量按式 (75) 计算：

$$\rho(I^-) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (75)$$

式中：

$\rho(\text{I})$ ——水样中碘化物(I)的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得碘化物的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

#### 38.4.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 38.4.7 其他

本法定量限为 0.05 mg/L(以 I 计)。

### 39 二氧化碳

#### 39.1 原理

游离二氧化碳能定量地与氢氧化钠反应生成碳酸氢盐，等当点 pH 为 8.3，以酚酞作指示剂，用氢氧化钠标准溶液滴定水样，由氢氧化钠标准溶液的消耗量即可计算出水样中游离二氧化碳的含量。

#### 39.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水及无二氧化碳水。

39.2.1 无二氧化碳水：将水煮沸 15 min，然后在不与大气二氧化碳接触的条件下冷却至室温。此水 pH 应大于 6.0，否则应延长煮沸时间。用时现制备。

39.2.2 酒石酸钾钠溶液(500 g/L)：称取 50 g 酒石酸钾钠( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ )溶于水，稀释至 100 mL，加 4 滴酚酞指示剂，用盐酸溶液滴定至红色刚好消失。

39.2.3 氢氧化钠标准溶液[ $c(\text{NaOH})=0.05 \text{ mol/L}$ ]

配制：称取 20 g 氢氧化钠，溶于 100 mL 水中，摇匀，移入聚乙烯瓶中，密闭放置至溶液清亮。吸取上层清液 10 mL，注入装有 1 000 mL 水的聚乙烯瓶中，密闭保存。

标定：称取 0.2 g ~ 0.3 g(精确到 0.0001 g)于 105 °C ~ 110 °C 干燥至恒重的邻苯二甲酸氢钾( $\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$ ，基准试剂)于 250 mL 锥形瓶中，加 50 mL 水溶解，加 4 滴酚酞指示剂，用配制的氢氧化钠溶液滴定至粉红色。同时做空白试验。

氢氧化钠标准溶液浓度按式(76)计算：

$$c(\text{NaOH}) = \frac{m}{(V - V_0) \times 204.2} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (76)$$

式中：

$c(\text{NaOH})$ ——氢氧化钠标准溶液的浓度，单位为摩尔每升 (mol/L)；

$m$ ——邻苯二甲酸氢钾的质量，单位为克 (g)；

$V$ ——滴定邻苯二甲酸氢钾所消耗氢氧化钠标准溶液的体积，单位为毫升 (mL)；

$V_0$ ——空白试验消耗氢氧化钠标准溶液的体积，单位为毫升 (mL)；

204.2——邻苯二甲酸氢钾的摩尔质量，单位为克每摩尔 (g/mol)；

1000——毫升到升的换算系数。

39.2.4 酚酞指示剂(5 g/L)：称取 0.25 g 酚酞( $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ )，用乙醇 [ $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ ]溶解并稀释至 50 mL。

39.2.5 盐酸溶液[ $c(\text{HCl})=0.1 \text{ mol/L}$ ]。

#### 39.3 仪器和设备

39.3.1 滴定管：25 mL。

39.3.2 移液管：50 mL。

39.3.3 锥形瓶：250 mL。

#### 39.4 分析步骤

39.4.1 用移液管以虹吸法吸取 50.00 mL 水样，将移液管插入到 250 mL 锥形瓶的底部，缓缓放出水样。加 4 滴酚酞指示剂，用氢氧化钠标准溶液滴定至粉红色不褪（若在滴定中发现水样浑浊，可另取水样于滴定前加入 1 mL 酒石酸钾钠溶液以消除干扰）。

39.4.2 对于游离二氧化碳含量较高的碳酸泉水，在按 39.4.1 步骤测定的基础上，应按下述方法重测。

准确吸取比 39.4.1 步骤中消耗量略少的氢氧化钠标准溶液于 250 mL 锥形瓶中，然后用移液管以虹吸法取 50.00 mL 水样，沿内壁缓缓放入锥形瓶内，加 4 滴酚酞指示剂，用氢氧化钠标准溶液滴定至粉红色不褪。滴定消耗氢氧化钠标准溶液的量应包括滴定前的加入量。

#### 39.5 分析结果的表述

试样中游离二氧化碳含量按式（77）计算：

$$\rho(\text{CO}_2) = \frac{c(\text{NaOH}) \times V_1 \times 44}{V} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (77)$$

式中：

$\rho(\text{CO}_2)$ ——水样中游离二氧化碳的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$c(\text{NaOH})$ ——氢氧化钠标准溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

$V_1$ ——滴定消耗氢氧化钠标准溶液的体积，单位为毫升（mL）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）；

44——二氧化碳( $\text{CO}_2$ )的摩尔质量，单位为克每摩尔（g/mol）；

1000——毫升到升的换算系数。

#### 39.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 40 硝酸盐

#### 40.1 麝香草酚光谱法

##### 40.1.1 原理

硝酸盐和麝香草酚在浓硫酸溶液中形成硝基酚化合物，在碱性溶液中发生分子重排，生成黄色化合物，比色测定。

##### 40.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

40.1.2.1 氨水( $\rho_{20}=0.88$  g/mL)。

40.1.2.2 乙酸溶液(1+4)。

40.1.2.3 氨基磺酸铵溶液(20 g/L)：称取 2.0 g 氨基磺酸铵 ( $\text{NH}_4\text{SO}_3\text{NH}_2$ )，用乙酸溶液溶解，并稀释为 100 mL。

40.1.2.4 麝香草酚乙醇溶液(5 g/L)：称取 0.5 g 麝香草酚[( $\text{CH}_3$ )( $\text{C}_3\text{H}_7$ ) $\text{C}_6\text{H}_3\text{OH}$ ]，Thymol，又名百里酚，溶于无水乙醇中，并稀释至 100 mL。

40.1.2.5 硫酸银硫酸溶液(10 g/L)：准确称取 1.0 g 硫酸银( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ )，溶于 100 mL 硫酸( $\rho_{20}=1.84$  g/mL)中。

40.1.2.6 硝酸盐标准储备溶液[ $\rho(\text{NO}_3^-)=5$  mg/mL]：准确称取 8.153 g 经 105 °C~110 °C 干燥 1 h 的硝酸钾( $\text{KNO}_3$ )，溶于水中，并定容至 1 000 mL。

40.1.2.7 硝酸盐标准工作溶液[ $\rho(\text{NO}_3^-)=50\text{ }\mu\text{g/mL}$ ]: 吸取 10.00 mL 硝酸盐标准储备溶液(40.1.2.6)定容至 1 000 mL 容量瓶中。

#### 40.1.3 仪器和设备

40.1.3.1 具塞比色管: 50 mL。

40.1.3.2 分光光度计。

#### 40.1.4 分析步骤

吸取 1.00 mL 水样于干燥的 50 mL 比色管中。另取 50 mL 比色管 7 支, 分别加入硝酸盐标准工作溶液 0 mL、0.05 mL、0.10 mL、0.30 mL、0.50 mL、0.70 mL 和 1.00 mL, 用水稀释至 1.00 mL。

向各管加入 0.1 mL 氨基磺酸铵溶液, 摇匀后放置 5 min。各加 0.2 mL 麝香草酚乙醇溶液。由比色管中央直接滴加到溶液中, 勿沿管壁流下。摇匀后加 2 mL 硫酸银硫酸溶液, 混匀后放置 5 min。加 8 mL 水, 混匀后滴加氨水至溶液黄色到达最深。并使氯化银沉淀溶解为止(约加 9 mL)。加水至 25 mL 刻度, 混匀。

于波长 415 nm 处, 用 2 cm 比色皿, 以水为参比, 测量吸光度。绘制校准曲线, 从曲线上查出试样中硝酸盐的质量。

#### 40.1.5 分析结果的表述

试样中硝酸盐含量按式 (78) 计算:

$$\rho(\text{NO}_3^-) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (78)$$

式中:

$\rho(\text{NO}_3^-)$ ——水样中硝酸盐的质量浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);

$m$ ——从校准曲线查得硝酸盐的质量, 单位为微克 ( $\mu\text{g}$ );

$V$ ——水样体积, 单位为毫升 (mL);

1 000——单位换算系数。

#### 40.1.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 40.1.7 其他

本方法定量限为 2.5 mg/L。

### 40.2 离子色谱法

同 36.4。

### 40.3 紫外光谱法

#### 40.3.1 原理

在波长 220 nm 处, 硝酸盐对紫外光有强烈的吸收, 在一定浓度范围内吸光度与硝酸盐的含量成正比。

溶解的有机物在波长 220 nm 和 275 nm 处均有吸收, 而硝酸盐在波长 275 nm 处没有吸收, 从而可通过测定波长 275 nm 处的吸光度对硝酸盐的吸光度进行校正。

#### 40.3.2 试剂和材料

除非另有规定, 本方法中所用试剂均为分析纯, 水为 GB/T 6682 规定的三级水。

40.3.2.1 盐酸溶液(1+11)。

40.3.2.2 硝酸盐标准储备溶液[ $\rho(\text{NO}_3^-)=100\text{ }\mu\text{g/mL}$ ]: 准确称取 0.1631 g 经 105 °C 干燥 2 h 的硝酸钾 ( $\text{KNO}_3$ ), 溶于水中并定容至 1 000 mL, 每升中加入 2 mL 三氯甲烷, 至少可稳定 6 个月。

40.3.2.3 硝酸盐标准工作溶液[ $\rho(\text{NO}_3^-)=10\text{ }\mu\text{g/mL}$ ]: 吸取 50.0 mL 硝酸盐标准储备溶液于 500 mL 容量瓶中, 用水定容。

#### 40.3.3 仪器和设备

40.3.3.1 紫外分光光度计及石英比色皿。

40.3.3.2 具塞比色管：50 mL。

#### 40.3.4 分析步骤

40.3.4.1 水样预处理：吸取 50.0 mL 水样于 50 mL 比色管中(必要时应用滤膜除去浑浊物质)，加 1 mL 盐酸溶液酸化。

40.3.4.2 标准系列制备：分别吸取硝酸盐标准工作溶液 0 mL、1.00 mL、5.00 mL、10.0 mL、20.0 mL、30.0 mL 和 35.0 mL 于 50 mL 比色管中，配成 0 mg/L~7 mg/L 硝酸盐标准系列，用水稀释至 50 mL，各加 1 mL 盐酸溶液。

40.3.4.3 用水调节仪器吸光度为 0，分别在 220 nm 和 275 nm 波长测定吸光度。

#### 40.3.5 分析结果的表述

用波长 220nm 处标准及试样的吸光度值减去 2 倍的波长 275 nm 处的相应吸光度值，绘制校准曲线，在曲线上直接读出试样中硝酸盐的质量浓度( $\text{NO}_3^-$ , mg/L)。

注：若波长 275 nm 吸光度的 2 倍大于波长 220 nm 吸光度的 10% 时，不适用本法。

#### 40.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 40.3.7 其他

本方法定量限为 0.2 mg/L。

### 41 亚硝酸盐

#### 41.1 原理

采用重氮偶合光谱法。在 pH=1.7 以下，水中亚硝酸盐与对氨基苯磺酰胺重氮化，再与盐酸 N-(1-萘)-乙烯二胺产生偶合反应，生成紫红色的偶氮染料，比色定量。

#### 41.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

41.2.1 氢氧化铝悬浮液：称取 125 g 硫酸铝钾 $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ 或硫酸铝铵 $[\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ ，溶于 1 000 mL 水中，加热至 60 °C，缓缓加入 55 mL 氨水 ( $\rho_{20}=0.88 \text{ g/mL}$ )，使氢氧化铝沉淀完全。充分搅拌后静置，弃去上清液，用水反复洗涤沉淀，至倾出上清液不含氯离子（用硝酸银溶液试验）为止。然后加入 300 mL 水成悬浮液，使用前振摇均匀。

41.2.2 对氨基苯磺酰胺溶液 (10 g/L)：称取 5 g 对氨基苯磺酰胺( $\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$ )，溶于 350 mL 盐酸溶液 (1+6) 中，用水稀释至 500 mL。此溶液可稳定数月。

41.2.3 盐酸 N-(1-萘)-乙烯二胺溶液 (1.0 g/L)：准确称取 0.5 g 盐酸 N-(1-萘)-乙烯二胺 ( $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 \cdot 2\text{HCl}$ ) 溶于 500 mL 水中，贮存于棕色瓶中，在冰箱内保存可稳定数周。如变成深棕色则应重配。

41.2.4 亚硝酸盐标准储备溶液 $[\rho(\text{NO}_2^-)=165 \mu\text{g/mL}]$ ：准确称取 0.2475 g 在玻璃干燥器内放置 24 h 的亚硝酸钠( $\text{NaNO}_2$ )，溶于水中，并定容至 1 000 mL。每升中加 2 mL 三氯甲烷保存。

41.2.5 亚硝酸盐标准工作溶液 $[\rho(\text{NO}_2^-)=0.33 \mu\text{g/mL}]$ ：吸取 10.00 mL 亚硝酸盐标准储备溶液于容量瓶中，用水定容至 500 mL，再从中吸取 10.00 mL，用水定容至 100 mL。

#### 41.3 仪器和设备

41.3.1 分光光度计。

41.3.2 具塞比色管：50 mL。

#### 41.4 分析步骤

41.4.1 若水样浑浊或色度较深，可先取 100 mL，加入 2 mL 氢氧化铝悬浮液，搅拌后静置数分钟，过滤。

41.4.2 先将水样或处理后的水样用酸或碱调至近中性。吸取 50.0 mL 置于比色管中。另取 50 mL 比色管 8 支，分别加入亚硝酸盐标准工作溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.50 mL、5.00 mL、7.50 mL、10.00 mL 和 12.50 mL，用水稀释至 50 mL。

41.4.3 向水样及标准系列管中分别加入 1 mL 对氨基苯磺酰胺溶液，摇匀后放置 2 min~8 min。加入 1.0 mL 盐酸 N-(1-萘)-乙烯二胺溶液，立即混匀。

41.4.4 于波长 540 nm 处，用 1 cm 比色皿，以水作参比，在 10 min 至 2 h 内，测定吸光度。如亚硝酸盐浓度低于 13 μg/L 时，改用 3 cm 比色皿。绘制校准曲线，从曲线上查出水样中亚硝酸盐的含量。

#### 41.5 分析结果的表述

试样中亚硝酸盐 ( $\text{NO}_2^-$ ) 含量按式 (79) 计算。

$$\rho(\text{NO}_2^-) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (79)$$

式中：

$\rho(\text{NO}_2^-)$ ——水样中亚硝酸盐( $\text{NO}_2^-$ )的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得的试样管中亚硝酸盐的质量，单位为微克 (μg)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

#### 41.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 41.7 其他

本方法定量限为 3.3 μg/L。

### 42 碳酸盐和碳酸氢盐

#### 42.1 原理

用标准盐酸溶液滴定水样时，若以酚酞作指示剂，滴定到等当点，pH 为 8.4，消耗的酸量仅相当于碳酸盐含量的一半，当再向溶液中加入甲基橙指示剂，继续滴定到等当点时，溶液的 pH 为 4.4，这时所滴定的是由碳酸盐所转变的碳酸氢盐和水样中原有的碳酸氢盐的总和，根据酚酞和甲基橙指示的两次终点时所消耗的盐酸标准溶液的体积，即可分别计算碳酸盐和碳酸氢盐的质量浓度。

#### 42.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

##### 42.2.1 盐酸标准溶液 [ $c(\text{HCl})=0.05 \text{ mol/L}$ ]

配制：吸取 4.2 mL 浓盐酸( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ )与蒸馏水混合并稀释到 1 000 mL，其准确浓度用无水碳酸钠标定。

标定：称 0.1 g~0.2 g(精确至 0.0001 g)于 180 °C 干燥恒重的无水碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )，放入 150 mL 锥形瓶中，加 50 mL 蒸馏水溶解，加 4 滴甲基橙指示剂，用上述盐酸溶液滴定到溶液由黄色突变为橙红色，即达终点，记录消耗盐酸溶液的毫升数( $V$ )。

盐酸溶液的浓度按式(80)计算：

$$c(\text{HCl}) = \frac{m}{V \times 0.05299} \quad \dots\dots\dots (80)$$

式中：

$c(\text{HCl})$ ——盐酸标准溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

$m$ ——碳酸钠的质量，单位为克（g）；

$V$ ——盐酸标准溶液的用量，单位为毫升（mL）；

0.05299——与 1.00 mL 盐酸标准溶液[ $c(\text{HCl})=1.000 \text{ mol/L}$ ]相当的以克表示的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的质量。

42.2.2 酚酞指示剂(5 g/L)：称取 0.5 g 酚酞，溶于 100 mL 乙醇( $\rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ )中。

42.2.3 甲基橙溶液(0.5 g/L)：称取 0.05 g 甲基橙，溶于 100 mL 水中。

### 42.3 仪器和设备

42.3.1 滴定管：25 mL。

42.3.2 移液管：50 mL，25 mL 和 5 mL。

42.3.3 锥形瓶：150 mL。

### 42.4 分析步骤

取 50 mL 水样于 150 mL 锥形瓶中，加入 4 滴酚酞指示剂，如出现红色，则用盐酸溶液滴定到溶液红色刚刚消失，记录消耗盐酸标准溶液的毫升数（ $V_1$ ）。

在此无色溶液中，再加入 4 滴甲基橙指示剂，以盐酸标准溶液滴定到溶液由黄色突变为橙红色，记录此时盐酸标准溶液的消耗毫升数（ $V_2$ ）。

### 42.5 分析结果的表述

试样中碳酸盐含量按式（81）计算，碳酸氢盐含量按式（82）计算：

$$\rho_1(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{2 \times V_1 \times c(\text{HCl}) \times 30.005}{V} \times 1000 \quad \dots\dots\dots(81)$$

$$\rho_2(\text{HCO}_3^-) = \frac{(V_2 - V_1) \times c(\text{HCl}) \times 61.017}{V} \times 1000 \quad \dots\dots\dots(82)$$

式中：

$\rho_1(\text{CO}_3^{2-})$ ——水样中碳酸盐的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$\rho_2(\text{HCO}_3^-)$ ——水样中碳酸氢盐的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$c(\text{HCl})$ ——盐酸标准溶液浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL），

30.005——与 1.00mL 盐酸标准溶液[ $c(\text{HCl})=1.000 \text{ mol/L}$ ]相当的以克表示的  $\text{CO}_3^{2-}$  的质量；

61.017——与 1.00mL 盐酸标准溶液[ $c(\text{HCl})=1.000 \text{ mol/L}$ ]相当的以克表示的  $\text{HCO}_3^-$  的质量；

1 000——毫升到升的换算系数。

在计算中有下述三种情况：

若  $V_1 = V_2$ ，无  $\text{HCO}_3^-$ ，仅有  $\text{CO}_3^{2-}$ ；

$V_1 < V_2$ ， $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  共存；

$V_1 = 0$ ，无  $\text{CO}_3^{2-}$ ；仅有  $\text{HCO}_3^-$ 。

### 42.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

## 43 硫酸盐

### 43.1 乙二胺四乙酸二钠滴定法

#### 43.1.1 原理

在微酸性条件下，加入过量的氯化钡，使水样中的硫酸盐离子定量地生成硫酸钡沉淀，剩余的钡在

pH=10 的介质中，以铬黑 T 作指示剂，用乙二胺四乙酸二钠标准溶液滴定。水样中原有的钙、镁也将一同被滴定，其所消耗的滴定剂可通过在相同条件下滴定另一份未加入沉淀剂的同体积水样而扣除。为使滴定终点清晰，应保证试液中含有一定量的镁，为此可用钡、镁混合溶液作沉淀剂。由通过空白试验而确定的加入的钡、镁所消耗滴定剂体积，减去沉淀硫酸盐后剩余的钡、镁所消耗滴定剂体积，即可计算出消耗于沉淀硫酸盐的钡量，进而求出硫酸盐含量。

#### 43.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

##### 43.1.2.1 盐酸溶液 (1+1)。

43.1.2.2 钡 [ $c(\text{Ba}^{2+})=0.01 \text{ mol/L}$ ] 和镁 [ $c(\text{Mg}^{2+})=0.005 \text{ mol/L}$ ] 混合溶液：准确称取 2.44 g 氯化钡 ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 和 1.02 g 氯化镁 ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )，混合后并溶于适量水中，稀释至 1 000 mL。

43.1.2.3 氨-氯化铝缓冲溶液 (pH=10)：称取 67.5 g 氯化铵 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 溶于约 300 mL 水中，加入 570 mL 氨水 ( $\rho_{20}=0.90 \text{ g/mL}$ )，用水稀释至 1 000 mL。

##### 43.1.2.4 乙二胺四乙酸二钠标准溶液 (EDTA-2Na 溶液)

配制：称取 3.72 g EDTA-2Na ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 溶解于 1 000 mL 水中，摇匀。称取 0.4000 g 于 800 °C 灼烧至恒重的基准氧化锌，用少量水润湿，加盐酸溶液(1+4)至其溶解，移入 250 mL 容量瓶内定容，摇匀。

标定：取上述锌基准溶液 20.00 mL 于 250 mL 锥形瓶中，加水 80 mL，放入一小块刚果红试纸，滴加氨水溶液(1+9)至刚果红试纸由蓝紫色变为红色，加 10 mL 氨-氯化铵缓冲溶液及 5 滴铬黑 T 指示剂，用刚配好的 EDTA-2Na 溶液滴定至不变的纯蓝色。同时做空白试验。

EDTA-2Na 标准溶液的浓度按式 (83) 计算：

$$c(\text{EDTA-2Na}) = \frac{m \times 20 / 250}{(V - V_0) \times 81.38} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (83)$$

式中：

$c(\text{EDTA-2Na})$ ——EDTA-2Na 标准溶液的浓度，单位为摩尔每升 (mol/L)；

$m$ ——氧化锌的质量，单位为克 (g)；

$V$ ——EDTA-2Na 标准溶液的用量，单位为毫升 (mL)；

$V_0$ ——空白试验 EDTA-2Na 标准溶液的用量，单位为毫升 (mL)；

250——锌基准溶液的总容积，单位为毫升 (mL)；

20——分取锌基准溶液的体积，单位为毫升 (mL)；

81.38——与 1.00 mL EDTA-2Na 标准溶液 [ $c(\text{EDTA-2Na})=1.0000 \text{ mol/L}$ ] 相当的以克为单位的氧化锌的质量；

1 000——毫升到升的换算系数。

43.1.2.5 铬黑 T 指示剂 (5 g/L)：称取 0.50 g 铬黑 T ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{O}_7\text{N}_3\text{SNa}$ ) 和 2.0 g 盐酸羟胺 ( $\text{NH}_2\text{OH HCl}$ )，用乙醇 [ $\rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ ] 溶解，并稀释至 100 mL。贮存在棕色瓶中。

##### 43.1.2.6 刚果红试纸。

43.1.2.7 盐酸溶液 (1+1)：盐酸 ( $\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}$ ) 与水等体积混合。

43.1.2.8 氯化钡溶液 (100 g/L)：称取 109 g 氯化钡 ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 溶于水中，稀释至 100 mL。

#### 43.1.3 仪器和设备

43.1.3.1 滴定管：25 mL。

43.1.3.2 移液管：50 mL，25 mL 和 10 mL。

43.1.3.3 刻度吸管：10 mL。

43.1.3.4 锥形瓶：150 mL。

43.1.3.5 电热板：可调温。

#### 43.1.4 分析步骤

43.1.4.1 吸取 5.0 mL 水样于 10 mL 比色管中，加 2 滴盐酸溶液，5 滴氯化钡溶液，摇匀，观察沉淀生成情况，按表 23 确定取样体积及钡、镁混合溶液用量。

表 23 取样体积及钡、镁混合溶液用量

浑浊情况	硫酸盐含量 mg/L	取样体积 mL	钡、镁混合溶液用量 mL
微浑浊	<25	100	5
浑浊	25~50	50	10
很浑浊	50~100	25	10
沉淀	100~200	10	10
大量沉淀	>200	<10	15

43.1.4.2 根据水样中硫酸盐含量（表 23）吸取适量水样于 150 mL 锥形瓶中，补加水至 50 mL；若取样量大于 50 mL，则加热浓缩至 50 mL。放入一小块刚果红试纸，滴加盐酸溶液至试纸变成蓝紫色，在电热板上加热沸腾 2 min~3 min。

43.1.4.3 趁热准确加入一定量（表 23）的钡、镁混合溶液，边加边摇动，并再次将试液加热至沸。取下锥形瓶，在室温下静置 6 h。

43.1.4.4 加入 5 mL 氨-氯化铵缓冲溶液，5 滴铬黑 T 指示剂，摇匀后，用 EDTA-2Na 标准溶液滴定至纯蓝色即为终点。记录消耗 EDTA-2Na 标准溶液的体积（ $V_1$ ）。

43.1.4.5 吸取相同体积的水样于 150 mL 锥形瓶中，补加水至 50 mL。以下按上述操作，滴定水样中的钙、镁离子。记录所消耗 EDTA-2Na 标准溶液的体积（ $V_2$ ）。

43.1.4.6 空白试验：吸取 50 mL 水于 150 mL 锥形瓶中，以下按上述操作。滴定消耗 EDTA-2Na 标准溶液的体积为  $V_0$ 。

#### 43.1.5 分析结果的表述

试样中硫酸盐离子含量按式（84）计算：

$$\rho(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{[V_0 - (V_1 - V_2)] \times c(\text{EDTA-2Na}) \times 96.06}{V} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (84)$$

式中：

$\rho(\text{SO}_4^{2-})$ ——水样中硫酸盐离子的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$c(\text{EDTA-2Na})$ ——EDTA-2Na 标准溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）；

96.06——与 1.00 mL EDTA-2Na 标准溶液 [ $c(\text{EDTA-2Na}) = 1.000 \text{ mol/L}$ ] 相当的以克表示的  $\text{SO}_4^{2-}$  的质量；

1000——毫升到升的换算系数。

#### 43.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 43.2 铬酸钡比色法

#### 43.2.1 原理

在酸性溶液中，铬酸钡与硫酸盐生成硫酸钡沉淀和铬酸根离子。将溶液中和至偏碱性后，多余的铬酸钡及生成的硫酸钡沉淀可过滤除去。滤液中则含有被硫酸盐所取代的铬酸盐离子，呈现黄色，比色定量。

加入钙氨试剂，除使溶液呈碱性外，还可除去碳酸盐及碳酸氢盐的干扰。加入乙醇可降低铬酸钡在水溶液中的溶解度。

### 43.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

43.2.2.1 乙醇[ $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ ]。

43.2.2.2 乙酸-盐酸混合液[ $c(\text{CH}_3\text{COOH})=1 \text{ mol/L}$ ]和[ $c(\text{HCl})=0.02 \text{ mol/L}$ ]：等体积混合。

43.2.2.3 铬酸钡悬浊液：称取 2.5 g 铬酸钡( $\text{BaCrO}_4$ )，加入 200 mL 乙酸-盐酸混合液，充分振摇均匀，制成悬浊液。保存于聚乙烯瓶中，使用前摇匀。

43.2.2.4 钙-氨溶液：称取 1.9 g 氯化钙( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )溶于 500 mL 氨水[ $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})=6 \text{ mol/L}$ ]中，密闭保存。

43.2.2.5 硫酸盐标准储备溶液[ $\rho(\text{SO}_4^{2-})=1 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 1.4786 g 无水硫酸钠( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 或 1.8141 g 无水硫酸钾( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )溶于水中，并定容至 1 000 mL。

43.2.2.6 硫酸盐标准工作溶液[ $\rho(\text{SO}_4^{2-})=0.05 \text{ mg/mL}$ ]：吸取 25.00 mL 硫酸盐标准储备溶液，用水定容至 500 mL。

### 43.2.3 仪器和设备

43.2.3.1 分光光度计。

43.2.3.2 比色管：25 mL。

43.2.3.3 玻璃漏斗。

### 43.2.4 分析步骤

吸取 10.0 mL 水样于 25 mL 比色管中。另取 25 mL 比色管 7 支，分别加入硫酸盐标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.20 mL、0.40 mL、0.60 mL、0.80 mL 和 1.00 mL，加水至 10 mL。将铬酸钡悬浊液充分摇匀，迅速而准确地向水样及标准系列管中各加 5.0 mL 充分混合，静置 3 min。各加 1.0 mL 钙-氨溶液，混匀。再各加 10 mL 乙醇，盖塞，猛烈振摇 1 min。用慢速定量滤纸过滤，弃去最初的 10 mL 滤液，收集以后的滤液于 10 mL 比色管中。于波长 420 nm 处，用 3 cm 比色皿，以水为参比，测定吸光度。绘制校准曲线，从曲线上查出水样中硫酸盐质量。

### 43.2.5 分析结果的表述

试样中硫酸盐 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 含量按式 (85) 计算：

$$\rho(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{m \times 1000}{V} \quad \dots\dots\dots (85)$$

式中：

$\rho(\text{SO}_4^{2-})$ ——水样中硫酸盐 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得水样中硫酸盐的质量，单位为毫克 (mg)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——毫升到升的换算系数。

### 43.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 43.2.7 其他

本方法定量限为 5.0 mg/L。

## 43.3 硫酸钡比浊法

### 43.3.1 原理

水中硫酸盐和钡离子生成硫酸钡沉淀，形成浑浊，其浑浊程度和水样中硫酸盐含量呈正比。

### 43.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

43.3.2.1 硫酸盐标准溶液[ $\rho(\text{SO}_4^{2-})=1 \text{ mg/mL}$ ]：同 43.2.3.5。

43.3.2.2 稳定剂溶液：称取 75 g 氯化钠(NaCl)，溶于 300 mL 水中，加入 30 mL 盐酸( $\rho_{20}=1.19$  g/mL)、50 mL 甘油(丙三醇)和 100 mL 乙醇( $\varphi$  (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)=95%)，混合均匀。

43.3.2.3 氯化钡晶体(BaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O)，20 目~30 目。

### 43.3.3 仪器和设备

43.3.3.1 浊度仪或分光光度计。

43.3.3.2 电磁搅拌器。

### 43.3.4 分析步骤

吸取 50.0mL 水样于 100 mL 烧杯中（若水样中硫酸盐浓度超过 40 mg/L，取适量水样并稀释至 50 mL）。加入 2.5 mL 稳定剂溶液，调节电磁搅拌器速度，使溶液在搅拌时不溅出，并能使 0.2 g 氯化钡晶体(43.4.2.3)在 10 s~30 s 之间溶解。固定此条件（在同批测定中不应改变）。

取同型号 100 mL 烧杯 6 个，分别加入硫酸盐标准溶液 0 mL、0.25 mL、0.50 mL、1.00 mL、1.50 mL 和 2.00 mL。各加水至 50 mL。使硫酸盐浓度分别为 0 mg/L、5.0 mg/L、10.0 mg/L、20.0 mg/L、30.0 mg/L 和 40.0 mg/L(以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>计)。

另取 50 mL 水样于标准系列在同一条件下，在水样与标准系列中各加入 2.5 mL 稳定剂溶液。待搅拌速度稳定后加入 0.2 g 氯化钡晶体，并立即计时，搅拌 60 s±5 s。各烧杯均从加入氯化钡晶体起计时，到准确 10 min 时，于波长 420 nm 处，用 3 cm 比色皿，以水为参比，测定吸光度。或用浊度仪测定浑浊度。绘制校准曲线，从曲线上查得样液中硫酸盐质量。

### 43.3.5 分析结果的表述

试样中硫酸盐 (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 含量按式 (86) 计算：

$$\rho(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{m \times 1000}{V} \dots\dots\dots (86)$$

式中：

$\rho(\text{SO}_4^{2-})$ ——水样中硫酸盐(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得的硫酸盐质量，单位为毫克 (mg)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

### 43.3.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 43.3.7 其他

本方法定量限为 5.0 mg/L。

### 43.4 离子色谱法

同 36.4。

## 44 耗氧量

### 44.1 酸性高锰酸钾滴定法

#### 44.1.1 原理

高锰酸钾在酸性溶液中将还原性物质氧化，过量的高锰酸钾用草酸还原。将高锰酸钾消耗量以氧(O<sub>2</sub>)表示。

#### 44.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

44.1.2.1 硫酸溶液(1+3)：将 1 体积硫酸( $\rho_{20}=1.84$  g/mL)在水浴冷却下缓缓加到 3 体积水中，煮沸，滴加

高锰酸钾溶液至溶液保持微红色。

44.1.2.2 草酸钠标准储备溶液 $[c(1/2\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)=0.1\text{ mol/L}]$ : 准确称取 6.701 g 草酸钠( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ), 溶于少量水中, 并于 1 000 mL 容量瓶中用水定容。置暗处保存。

44.1.2.3 高锰酸钾溶液 $[c(1/5\text{KMnO}_4)=0.1\text{ mol/L}]$

配制: 称取 3.3 g 高锰酸钾( $\text{KMnO}_4$ ), 溶于少量水中, 并定容至 1 000 mL。煮沸 15 min, 静置 2 周。然后用玻璃砂芯漏斗过滤至棕色瓶中, 置暗处保存。

标定: 吸取 25.00 mL 草酸钠溶液于 250 mL 锥形瓶中, 加入 75 mL 新煮沸放冷的水及 2.5 mL 硫酸( $\rho_{20}=1.84\text{ g/mL}$ )。迅速自滴定管中加入约 24 mL 高锰酸钾溶液, 待褪色后, 加热至 65 °C, 再继续滴定呈微红色并保持 30 s 不褪。当滴定终了时, 溶液温度不低于 55 °C。记录高锰酸钾溶液用量。

高锰酸钾溶液浓度按式 (87) 计算:

$$c(1/5\text{KMnO}_4) = \frac{0.1000 \times 25.00}{V} \quad \dots\dots\dots (87)$$

式中:

$c(1/5\text{KMnO}_4)$ ——高锰酸钾溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

$V$ ——高锰酸钾溶液的用量, 单位为毫升 (mL)。

44.1.2.4 高锰酸钾标准溶液 $[c(1/5\text{KMnO}_4)=0.01\text{ mol/L}]$ : 将高锰酸钾溶液准确稀释 10 倍。

44.1.2.5 草酸钠标准工作溶液 $[c(1/2\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)=0.01\text{ mol/L}]$ : 将草酸钠标准储备溶液准确稀释 10 倍。

#### 44.1.3 仪器和设备

44.1.3.1 恒温水浴锅。

44.1.3.2 锥形瓶: 100 mL。

44.1.3.3 滴定管。

#### 44.1.4 分析步骤

44.1.4.1 锥形瓶的预处理: 向 250 mL 锥形瓶内加入 1 mL 硫酸溶液及少量高锰酸钾标准溶液。煮沸数分钟, 取下锥形瓶用草酸钠标准工作溶液滴定至微红色, 将溶液弃去。

44.1.4.2 吸取 100.0 mL 充分混匀的水样(若水样中有机物含量较高, 可取适量水样以水稀释至 100 mL), 置于上述处理过的锥形瓶中。加入 5 mL 硫酸溶液。加入 10.00 mL 高锰酸钾标准溶液。

44.1.4.3 将锥形瓶放入沸腾的水浴中, 准确放置 30 min。如加热过程中红色明显减退, 应将水样稀释重做。

44.1.4.4 取下锥形瓶, 趁热加入 10.00 mL 草酸钠标准工作溶液, 充分振摇, 使红色褪尽。

44.1.4.5 于白色背景上, 自滴定管滴入高锰酸钾标准溶液, 至溶液呈微红色即为终点。记录用量  $V_1(\text{mL})$ 。

注: 测定时如水样消耗的高锰酸钾标准溶液超过了加入量的一半, 由于高锰酸钾标准溶液的浓度过低, 影响了氧化能力, 使测定结果偏低。遇此情况, 应取少量试样稀释后重做。

44.1.4.6 向滴定至终点的水样中, 趁热 70 °C~80 °C 加入 10.00 mL 草酸钠标准工作溶液。立即用高锰酸钾标准溶液滴定至微红色, 记录用量  $V_2(\text{mL})$ 。如高锰酸钾标准溶液物质的量浓度为准确的 0.0100 mol/L, 滴定时用量应为 10.00 mL, 否则可按式 (88) 求一校正系数( $K$ ):

$$K = \frac{10}{V_2} \quad \dots\dots\dots (88)$$

44.1.4.7 如水样用水稀释, 则另取 100 mL 水, 同上述步骤滴定, 记录高锰酸钾标准溶液消耗量  $V_0(\text{mL})$ 。

#### 44.1.5 分析结果的表述

试样耗氧量按式 (89) 计算:

$$\rho(\text{O}_2) = \frac{[(10+V_1) \times K - 10] \times c \times 8 \times 1000}{100} = [(10+V_1) \times K - 10] \times 0.8 \quad \dots\dots (89)$$

如水样用水稀释，则采用式（90）计算水样的耗氧量。

$$\rho(\text{O}_2) = \frac{\{[(10+V_1) \times K - 10] - [(10+V_0) \times K - 10] \times R\} \times c \times 8 \times 1000}{V_3} \quad \dots\dots (90)$$

式中：

$R$ ——稀释水样时，水在 100 mL 体积内所占的比例值；

例如：25 mL 水样用水稀释至 100 mL，则

$$R = \frac{100 - 25}{100} = 0.75$$

$V_1$ ,  $K$ ,  $V_0$ ——同步骤 44.1.4.5、44.1.4.6 和 44.1.4.7；

$\rho(\text{O}_2)$ ——耗氧量的质量浓度（以  $\text{O}_2$  计），单位为毫克每升（mg/L）；

$c$ ——高锰酸钾标准溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

8——与 1.00 mL 高锰酸钾标准溶液 [ $c(1/5\text{KMnO}_4) = 1.000 \text{ mol/L}$ ] 相当的以毫克表示的氧质量；

$V_3$ ——水样体积，单位为毫升（mL）。

#### 44.1.6 其他

当采用 100 mL 水样时，本方法定量限为 0.05 mg/L，最高可测定耗氧量为 5.0 mg/L(以  $\text{O}_2$  计)。

### 44.2 碱性高锰酸钾滴定法

#### 44.2.1 原理

高锰酸钾在碱性溶液中将还原性物质氧化，酸化后过量高锰酸钾用草酸钠溶液滴定。

#### 44.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

44.2.2.1 氢氧化钠溶液(500 g/L)：称取 50 g 氢氧化钠 (NaOH)，溶于水，稀释至 100 mL。

44.2.2.2 其他试剂同 44.1.2.1，44.1.2.4 和 44.1.2.5。

#### 44.2.3 仪器和设备

同 44.1.3。

#### 44.2.4 分析步骤

吸取 100.0 mL 水样于 250 mL 处理过的锥形瓶内(处理方法见 44.1.4.1)，加入 0.5 mL 氢氧化钠溶液(44.2.2.1)及 10.00 mL 高锰酸钾标准溶液。于沸水浴中准确加热 30 min。取下锥形瓶，趁热加入 5 mL 硫酸溶液及 10.00 mL 草酸钠标准工作溶液，振摇均匀至红色褪尽。由滴定管滴加高锰酸钾标准溶液(44.1.2.4)，至淡红色，即为终点。记录用量  $V_1$ (mL)。

按 44.1.4.6 计算高锰酸钾标准溶液的校正系数。

如水样需水稀释后测定，按 44.1.4.7 计算 100 mL 水的耗氧量，记录高锰酸钾标准溶液消耗量  $V_0$ (mL)。

#### 44.2.5 分析结果的表述

同 44.1.5。

#### 44.2.6 其他

当采用 100 mL 水样时，本方法最高可测定耗氧量为 5.0 mg/L(以  $\text{O}_2$  计)。

### 45 氰化物

#### 45.1 异烟酸-吡唑啉酮光谱法

##### 45.1.1 原理

在 pH=7.0 的溶液中，用氯胺 T 将氰化物转变为氯化氰，再与异烟酸-吡唑啉酮作用，生成蓝色染料，比色定量。

## 45.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

45.1.2.1 酒石酸( $C_4H_6O_6$ ): 固体。

45.1.2.2 乙酸锌溶液(100 g/L): 称取 50 g 乙酸锌 $[Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O]$ ，溶于水中，并稀释至 500 mL。

45.1.2.3 氢氧化钠溶液(20 g/L): 称取 2.0 g 氢氧化钠溶液(NaOH)，溶于水中，并稀释至 100 mL。

45.1.2.4 氢氧化钠溶液(1 g/L): 将氢氧化钠溶液用水稀释 20 倍。

45.1.2.5 磷酸盐缓冲溶液(pH=7.0): 称取 34.0 g 磷酸二氢钾( $KH_2PO_4$ )和 35.5 g 磷酸氢二钠( $Na_2HPO_4$ )溶于水中，并稀降至 1 000 mL。

45.1.2.6 异烟酸-吡唑啉酮溶液: 准确称取 1.5 g 异烟酸( $C_6H_5O_2N$ )，溶于 24 mL 氢氧化钠溶液中，用水稀释至 100 mL；另称取 0.25 g 吡唑啉酮( $C_{10}H_{10}N_2O$ )，溶于 20 mL N-二甲基甲酰胺 $\{[HCON(CH_3)_2]\}$ 中。合并两种溶液，混匀。

45.1.2.7 氯胺 T 溶液(10 g/L): 称取 1 g 氯胺 T( $C_7H_7SO_2NCINa \cdot 3H_2O$ )，溶于水中，并稀释至 100 mL。临用时配制。

注：氯胺 T 的有效氯含量对本方法影响很大。氯胺 T 有效氯含量为 22% 以上。必要时需用碘量法测定有效氯含量后再用。

45.1.2.8 硝酸银标准溶液( $c(AgNO_3)=0.0192 \text{ mol/L}$ ): 准确称取 3.2617 g 硝酸银( $AgNO_3$ )，溶于水中，并定容至 1 000 mL。参照 37.1.2.9 步骤对其进行标定。1.00 mL 相当于 1.00 mg 氰化物(以  $CN^-$  计)。

45.1.2.9 氰化钾标准溶液 $[\rho(CN^-)=100 \mu\text{g/mL}]$

配制：称取 0.25 g 氰化钾(KCN)，溶于水中，并定容至 1 000 mL。此溶液每毫升约含 0.1 mg 氰化物。其准确浓度可在使用前用硝酸银溶液标定，计算溶液中氰化物的含量。再用氢氧化钠溶液稀释成  $\rho(CN^-)=1.00 \mu\text{g/mL}$  的标准工作溶液。

标定：吸取 10.00 mL 氰化钾溶液于 100 mL 锥形瓶中，加入 1 mL 氢氧化钠溶液使 pH 在 11 以上，加入 0.1 mL 试银灵指示剂，用硝酸银标准溶液滴定至溶液由黄色变为橙色。消耗硝酸银溶液的毫升数即为该 10.00 mL 氰化钾标准溶液中氰化物(以  $CN^-$  计)的毫克数。

注：-此溶液剧毒！

45.1.2.10 试银灵指示剂(0.2 g/L): 称取 0.02 g 试银灵(对二甲氨基亚苄基罗丹明， $C_{12}H_{12}NO_2S_2$ )溶于 100 mL 丙酮中。

45.1.2.11 甲基橙指示剂(0.5 g/L): 称取 50 mg 甲基橙，溶于水中。并稀释至 100 mL。

## 45.1.3 仪器和设备

45.1.3.1 分光光度计。

45.1.3.2 具塞比色管：25 mL、50 mL。

45.1.3.3 恒温水浴锅。

45.1.3.4 全玻璃蒸馏器：500 mL。

## 45.1.4 分析步骤

量取 250 mL 水样(氰化物含量超过 20  $\mu\text{g}$  时，可取适量水样，加水稀释至 250 mL)置于 500 mL 全玻璃蒸馏器内，加入数滴甲基橙指示剂，再加 5 mL 乙酸锌溶液，加入 1 g~2 g 固体酒石酸。此时溶液颜色由橙黄变成橙红，迅速进行蒸馏。蒸馏速度控制在每分钟 2 mL~3 mL。收集馏出液于 50 mL 具塞比色管中[管内预先放置 5 mL 氢氧化钠溶液作吸收液]，务必使冷凝管下端插入吸收液中。收集馏出液至 50 mL，混合均匀。

吸取 10.0 mL 馏出液，置于 25 mL 具塞比色管中。另取 25 mL 具塞比色管 9 支，分别加入氰化钾标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.20 mL、0.40 mL、0.60 mL、0.80 mL、1.00 mL、1.50 mL 和 2.00 mL，加氢氧化钠溶液至 10.0 mL。

向水样管和标准管中各加 5.0 mL 磷酸盐缓冲溶液。置于 37  $^{\circ}\text{C}$  左右恒温水浴中，加入 0.25 mL 氯胺 T 溶液，加塞混合，放置 5 min，然后加入 5.0 mL 异烟酸-吡唑啉酮溶液，加水至 25 mL，混匀。于 25  $^{\circ}\text{C}$ ~

40 °C放置 40 min。

于波长 638 nm 处，用 3 cm 比色皿，以水作参比，测量吸光度。绘制校准曲线，从曲线上查出试样管中氰化物质量。

#### 45.1.5 分析结果的表述

试样中氰化物含量按式 (91) 计算：

$$\rho(\text{CN}^-) = \frac{m \times V_1 \times 1000}{V \times V_2 \times 1000} \quad \dots\dots\dots (91)$$

式中：

$\rho(\text{CN}^-)$ ——水样中氰化物的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)。

$m$ ——从校准曲线上查得试样管中氰化物的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V_1$ ——馏出液总体积，单位为毫升 (mL)；

$V_2$ ——比色所用馏出液体积，单位为毫升 (mL)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

#### 45.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 45.1.7 其他

本方法定量限为 0.002 mg/L。

### 45.2 异烟酸-巴比妥酸光谱法

#### 45.2.1 原理

水样中的氰化物经蒸馏后被碱性溶液吸收，与氯胺 T 的活性氯作用生成氯化氰，再与异烟酸-巴比妥酸试剂反应生成紫蓝色化合物，于波长 600 nm 处比色定量。

#### 45.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

45.2.2.1 酒石酸( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ )：固体。

45.2.2.2 乙酸锌溶液(100 g/L)：同 45.1.2.2。

45.2.2.3 氢氧化钠溶液(20 g/L)：同 45.1.2.3。

45.2.2.4 乙酸溶液(3+97)。

45.2.2.5 磷酸二氢钾溶液(136g/L)：准确称取 13.6 g 磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )，溶于水中，并稀释至 100 mL。

45.2.2.6 氯胺 T 溶液(10 g/L)(临用时配制)：同 45.1.2.7。

45.2.2.7 氢氧化钠溶液(12 g/L)：准确称取 1.2 g 氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )，溶于水中，并稀释至 100 mL。

45.2.2.8 异烟酸-巴比妥酸试剂：准确称取 2.0 g 异烟酸( $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$ )和 1.0 g 巴比妥酸( $\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_3$ )，加到 100 mL(60 °C~70 °C)的氢氧化钠溶液中，搅拌至溶解，冷却后加水至 100 mL。此试剂 pH 约为 12，呈无色或极浅黄色，于冰箱中可保存 1 个月。

45.2.2.9 甲基橙溶液(0.5 g/L)：同 45.1.2.11。

45.2.2.10 氰化钾标准工作溶液：同 45.1.2.9。

45.2.2.11 酚酞溶液(1 g/L)：称取 1 g 酚酞，溶于 100 mL 乙醇[ $\rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=95\%$ ]中。

#### 45.2.3 仪器和设备

45.2.3.1 分光光度计。

45.2.3.2 全玻璃蒸馏器：500 mL。

45.2.3.3 具塞比色管：25 mL 和 50 mL。

#### 45.2.4 分析步骤

45.2.4.1 水样预处理：同 45.1.4。

45.2.4.2 吸取 10.0 mL 馏出液，置于 25 mL 具塞比色管中。另取 25 mL 具塞比色管 9 支，分别加入氰化钾标准工作溶液 0 mL、0.10 mL、0.20 mL、0.40 mL、0.60 mL、0.80 mL、1.00 mL、1.50 mL、2.00 mL，加氢氧化钠溶液至 10.0 mL。

45.2.4.3 向水样及标准系列管各加 1 滴酚酞溶液，用乙酸溶液调至红色刚好消失。

注：试验表明溶液 pH 在 5~8 范围内，加入缓冲液后可使显色液 pH 在 5.6~6.0 之间。在此条件下吸光度最大且稳定。

45.2.4.4 向各管加入 3.0 mL 磷酸二氢钾溶液和 0.25 mL 氯胺 T 溶液，混匀。放置 1 min~2 min 后，向各管加入 5.0 mL 异烟酸-巴比妥酸试剂，在 25 °C 下使溶液显色 15 min。

注：溶液在 25 °C 显色 15 min 可获最大吸光度并能稳定 30 min。

45.2.4.5 于波长 600 nm 处，用 3 cm 比色皿，以水为参比，测定吸光度。绘制校准曲线，在曲线上查出试样管中氰化物的质量。

#### 45.2.5 分析结果的表述

试样中氰化物含量按式 (92) 计算：

$$\rho(\text{CN}^-) = \frac{m \times V_1 \times 1000}{V \times V_2 \times 1000} \quad \dots\dots\dots (92)$$

式中：

- $\rho(\text{CN}^-)$ ——水样中氰化物的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；
- $m$ ——从校准曲线上查得试样管中氰化物的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；
- $V_1$ ——馏出液总体积，单位为毫升 (mL)；
- $V_2$ ——比色所用馏出液体积，单位为毫升 (mL)；
- $V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；
- 1 000——单位换算系数。

#### 45.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 45.2.7 其他

本方法定量限为 0.002 mg/L。

### 45.3 流动注射在线蒸馏法

#### 45.3.1 原理

在 pH 约 4 的弱酸条件下，水中氰化物经流动注射仪进行在线蒸馏，通过膜分离器分离，然后用连续流动的氢氧化钠溶液吸收；含有乙酸锌的酒石酸作为蒸馏试剂，使氰化铁沉淀，去除铁氰化物或亚铁氰化物的干扰，非化合态的氰在 pH < 8 的条件下与氯胺 T 反应，转化成氯化氰 (CNCl)；氯化氰与异烟酸-巴比妥酸试剂反应，形成紫蓝色化合物，于波长 600 nm 处进行比色测定。

#### 45.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

45.3.2.1 载液 (标准稀释液) (1 g/L)：称取 1.0 g 氢氧化钠 (NaOH)，溶于 800 mL 水，搅拌并稀释至 1 000 mL，密闭保存在塑料容器中。临用时配制。

45.3.2.2 磷酸二氢钾溶液 (97 g/L)：称取 97 g 无水的磷酸二氢钾 ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )，溶于 800 mL 水中并稀释至 1 000 mL，需要磁力搅拌至完全溶解。可保持一月内稳定。

45.3.2.3 氯胺 T 溶液 (2 g/L)：称取 1.0 g 氯胺 T ( $\text{C}_7\text{H}_7\text{SO}_2\text{NCINa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) 溶于 500 mL 水中，临用时配制。

45.3.2.4 异烟酸-巴比妥酸试剂 (13.6 g/L)：称取 12.0 g 氢氧化钠 (NaOH)，溶于 800 mL 水，搅拌至溶解。称

取13.6 g巴比妥酸 ( $C_4H_4N_2O_3$ ) 和13.6 g异烟酸 ( $C_6H_5O_2N$ ), 加到氢氧化钠溶液中, 在60 °C~70 °C搅拌直到完全溶解, 用水稀释至1 000 ml。可保持一周内稳定。

45.3.2.5 乙酸锌溶液(3.3 g/L): 称取3.3 g乙酸锌 $[Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O]$ , 溶于800 ml水, 当乙酸锌完全溶解后, 加入13.21 g酒石酸( $C_4H_6O_6$ ), 搅拌至完全溶解, 用水稀释至1 000 mL, 可保持一周内稳定。

45.3.2.6 氰化物标准工作溶液 $[\rho(CN^-) = 0.50 \mu g/mL]$ : 准确称取0.25 g氰化钾(KCN), 溶于水中, 并定容至1 000 mL。此溶液每毫升约含0.1 mg氰化物。其准确浓度在使用前按照45.1.2.9进行标定, 计算溶液中氰化物的含量。再用氢氧化钠溶液稀释成 $\rho(CN^-) = 0.50 \mu g/mL$ 的标准工作溶液。

### 45.3.3 仪器和设备

45.3.3.1 流动注射分析仪: 氰化物反应单元及在线加热膜分离器、600 nm比色检测器、自动进样器、多通道蠕动泵、数据处理系统。

45.3.3.2 玻璃器皿: 容量瓶(100 mL)、移液管(10 mL)。

### 45.3.4 分析步骤

45.3.4.1 标准系列的制备: 取7个100 mL容量瓶, 再分别加入氰化物标准工作溶液0 mL、0.4 mL、1.0 mL、2.0 mL、4.0 mL、6.0 mL及10.0 mL, 用载液定容至刻度, 其质量浓度分别为0  $\mu g/L$ 、2.0  $\mu g/L$ 、5.0  $\mu g/L$ 、10  $\mu g/L$ 、20  $\mu g/L$ 、30  $\mu g/L$ 及50  $\mu g/L$ , 以载液做空白。

#### 45.3.4.2 仪器操作

参考仪器说明书, 开机、调整流路系统, 输入系统参数, 确定分析条件, 并将工作条件调整至测氰化物的最佳测定状态。仪器参考条件见表24。

表 24 流动注射分析仪的参考测试参数

自动进样器	蠕动泵	加热蒸馏装置	流路系统	数据处理系统
初始化 正常	转速设为35级, 转动平稳	蒸馏部分: 稳定于145 °C $\pm$ 1 °C; 显色部分: 稳定于60 °C $\pm$ 1 °C	无泄漏, 试剂流动平稳	基线平直

45.3.4.3 测定: 流路系统稳定后, 依次测定标准系列及试样。

注: 所列测量范围受不同型号仪器的灵敏度及操作条件的影响而变化时, 可酌情改变上述测量范围。

### 45.3.5 分析结果的表述

以所测试样的吸光度, 从校准曲线或回归方程中查得试样溶液中氰的质量浓度 (mg/L)。

### 45.3.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的10%。

### 45.3.7 其他

本方法定量限为2.0  $\mu g/L$  (以CN<sup>-</sup>计)。

## 46 挥发性酚类化合物

### 46.1 4-氨基安替比林三氯甲烷萃取光谱法

#### 46.1.1 原理

在 pH=10.0 $\pm$ 0.2 和有氧化剂铁氰化钾存在的溶液中, 酚与4-氨基安替比林形成黄色的安替比林染料, 用三氯甲烷萃取后比色定量。酚的对位取代基可阻止酚与安替比林的反应, 但羟基(-OH)、卤素、磺酰基(-SO<sub>2</sub>H)、羧基(-COOH)、甲氧基(-OCH<sub>3</sub>)除外。此外, 邻位硝基也阻止反应, 间位硝基部分地阻止反应。

#### 46.1.2 试剂和材料

除非另有规定, 本方法中所用试剂均为分析纯, 水为 GB/T 6682 规定的三级水。

46.1.2.1 无酚水: 于水中加入氢氧化钠至 pH 为 12 以上, 进行蒸馏。在碱性溶液中, 酚形成酚钠不被蒸出 (本法所用的水不得含酚及游离余氯)。

46.1.2.2 三氯甲烷。

46.1.2.3 硫酸铜溶液(100 g/L): 称取 10 g 硫酸铜( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), 溶于水, 并稀释至 100 mL。

46.1.2.4 氨水-氯化铵缓冲溶液(pH=9.8): 称取 20 g 氯化铵( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), 溶于 100 mL 氨水( $\rho_{20}=0.88 \text{ g/mL}$ )中。

46.1.2.5 4-氨基安替比林溶液(20 g/L): 准确称取 2.0 g 4-氨基安替比林(4-AAP,  $\text{C}_{11}\text{H}_{13}\text{ON}_3$ )溶于水, 并稀释至 100 mL。储于棕色瓶中, 临用时配制。

46.1.2.6 铁氰化钾溶液(80 g/L): 称取 8.0 g 铁氰化钾( $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ), 溶于水, 并稀释至 100 mL。储于棕色瓶中, 临用时配制。

46.1.2.7 溴酸钾-溴化钾溶液[c(1/6  $\text{KBrO}_3$ )=0.1 mol/L]: 准确称取 2.78 g 干燥的溴酸钾( $\text{KBrO}_3$ ), 溶于水中, 加入 10 g 溴化钾( $\text{KBr}$ ), 并稀释至 1 000 mL。

46.1.2.8 淀粉溶液(5 g/L): 称取 0.5 g 可溶性淀粉, 用少量水调成糊状, 再加刚煮沸的水至 100 mL。冷却后加入 0.1 g 水杨酸或 0.4 g 氯化锌, 保存备用。

46.1.2.9 硫酸溶液(1+9)。

#### 46.1.2.10 酚标准溶液

46.1.2.10.1 苯酚的精制: 吸取苯酚于具空气冷凝管的蒸馏瓶中, 加热蒸馏, 收集 182 °C~184 °C的馏出部分。精制酚冷却后应为白色, 盖严储于冷暗处。

#### 46.1.2.10.2 酚标准储备溶液

配制: 称取 1 g 白色精制苯酚( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ), 溶解于 1 000 mL 水中, 标定后保存于冰箱中。

标定: 吸取 25.00 mL 待标定的酚标准储备溶液, 置于 250 mL 碘量瓶中。加入 100 mL 水, 然后准确加入 25.00 mL 溴酸钾-溴化钾溶液。立即加入 5 mL 盐酸( $\rho_{20}=1.18 \text{ g/mL}$ ), 盖严瓶塞, 缓缓旋摇。静置 10 min。加入 1 g 碘化钾, 盖严瓶塞, 摇匀, 于暗处放置 5 min 后, 用硫代硫酸钠标准溶液滴定, 至呈浅黄色时, 加入 1 mL 淀粉溶液(46.1.2.8), 继续滴定至蓝色消失为止。同时用水作试剂空白滴定。

酚标准溶液(以苯酚计)含量按式(93)计算:

$$\rho(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \frac{(V_0 - V_1) \times 0.0500 \times 15.68 \times 1000}{25} \dots\dots\dots (93)$$

$$= (V_0 - V_1) \times 78.4$$

式中:

$\rho(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})$ ——酚标准溶液(以苯酚计)的质量浓度, 单位为微克每毫升( $\mu\text{g/mL}$ );

$V_0$ ——试剂空白消耗硫代硫酸钠溶液的体积, 单位为毫升(mL);

$V_1$ ——酚标准储备溶液消耗硫代硫酸钠溶液的体积, 单位为毫升(mL);

0.0500——硫代硫酸钠标准溶液摩尔浓度, 单位 mol/L;

15.68——与 1.00 mL 硫代硫酸钠标准溶液[c( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )=1.000 mol/L]相当的以克表示的苯酚的质量;

1 000——单位换算系数。

46.1.2.10.3 酚标准工作溶液 [ $\rho(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})=1 \mu\text{g/mL}$ ]: 临用时将酚标准储备溶液用水先稀释成 [ $\rho(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})=10 \mu\text{g/mL}$ ], 再用此液稀释成 [ $\rho(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})=1 \mu\text{g/mL}$ ]。

46.1.3.11 硫代硫酸钠标准溶液[c( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )=0.0500 mol/L], 将经过标定的硫代硫酸钠溶液用适量的水稀释至 0.0500 mol/L。

配制: 称取 25 g 硫代硫酸钠( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )溶于 1 000 mL 煮沸放冷的水中, 此溶液的浓度为 0.1 mol/L。加入 0.4 g 氢氧化钠或 0.2 g 无水碳酸钠, 贮存于棕色瓶内, 7 d~10 d 后进行标定。

标定: 碘酸钾( $\text{KIO}_3$ )在 105 °C 下烘烤 1 h。置于硅胶干燥器中冷却 30 min。准确称取 2 份, 各约 0.15 g, 分别放入 250 mL 碘量瓶中, 每瓶中各加入 100 mL 水使碘酸钾溶解, 再各加 3 g 碘酸钾及 10 mL 冰乙酸, 在暗处静置 5 min, 用待标定的硫代硫酸钠溶液滴定, 直至溶液呈淡黄色, 加入 1 mL 淀粉溶液, 继续滴定至恰使蓝色褪去为止, 记录用量。

硫代硫酸钠溶液的浓度按式(94)计算(以两次平均值表示结果):

$$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{m}{V \times 0.03567} \quad \dots\dots\dots (94)$$

式中：

$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ ——硫代硫酸钠标准溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

0.03567——与 1.00 mL 硫代硫酸钠标准溶液 [ $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)=1.000 \text{ mol/L}$ ] 相当的以克表示的  $\text{KIO}_3$  质量；

$m$ ——碘酸钾的质量，单位为克（g）；

$V$ ——硫代硫酸钠标准溶液的消耗量，单位为毫升（mL）。

#### 46.1.3 仪器和设备

46.1.3.1 分光光度计。

46.1.3.2 全玻璃蒸馏器：500 mL。

46.1.3.3 具塞比色管：10 mL。

46.1.3.4 容量瓶：250 mL。

46.1.3.5 分液漏斗：500 mL。

#### 46.1.4 分析步骤

##### 46.1.4.1 水样处理

量取 250 mL 水样，置于 500 mL 蒸馏瓶中。以甲基橙为指示剂，用硫酸溶液调 pH 至 4.0 以下，使水样由桔黄色变为橙色，加入 5 mL 硫酸铜溶液及数粒玻璃珠，加热蒸馏。待蒸馏出总体积的 90% 左右，停止蒸馏。稍冷，向蒸馏瓶内加入 25 mL 水，继续蒸馏，直到收集 250 mL 馏出液为止。

注 1：由于酚随水蒸气挥发，速度缓慢，收集馏出液的体积应与原水样体积相等。试验证明接收的馏出液体积不与原水样相等，将影响回收率。

注 2：不得用橡胶塞、橡胶管连接蒸馏瓶及冷凝器，否则可能出现阳性干扰。

##### 46.1.4.2 测定

将水样馏出液全部转入 500 mL 分液漏斗中，另取酚标准工作溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、4.00 mL、6.00 mL、8.00 mL 和 10.00 mL，分别置于预先盛有 100 mL 水的 500 mL 分液漏斗内，最后补加水至 250 mL。

向各分液漏斗内加入 2 mL 氨水-氯化铵缓冲液，混匀。再各加 1.5 mL 4-氨基安替比林溶液，混匀，最后加入 1.5 mL 铁氰化钾溶液，充分混匀，准确静置 10 min。加入 10.0 mL 三氯甲烷，振摇 2 min，静置分层。在分液漏斗颈部塞入滤纸卷将三氯甲烷萃取溶液缓缓放入干燥比色管中。

于波长 460 nm 处，用 2 cm 比色皿，以三氯甲烷为参比，测量吸光度。绘制校准曲线，从校准曲线上查出酚的质量。

注 1：各种试剂加入的顺序不能随意更改。4-AAP 的加入量必须准确，以消除 4-AAP 可能分解生成的安替比林红，使空白值增高所造成的误差。

注 2：4-AAP 与酚在水溶液中生成的红色染料萃取至三氯甲烷中可稳定 4h。时间过长颜色由红变黄。

##### 46.1.5 分析结果的表述

试样中挥发性酚含量按式（95）计算：

$$\rho(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (95)$$

式中：

$\rho(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})$ ——水样中挥发性酚的质量浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$m$ ——从校准曲线上查得的试样管中挥发性酚的质量(以苯酚计)，单位为微克（ $\mu\text{g}$ ）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）；

1 000——单位换算系数。

##### 46.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 46.1.7 其他

本方法定量限为 0.002 mg/L 酚。

### 46.2 流动注射在线蒸馏法

#### 46.2.1 原理

试样通过流动注射仪被带入连续流动的载液流中，与磷酸混合后进行在线蒸馏；含有挥发酚物质的蒸馏液与连续流动的4-氨基安替比林及铁氰化钾混和，挥发酚被铁氰化物氧化生成醌物质，再与4-氨基安替比林反应形成黄色物质，于波长500 nm处进行比色测定。

#### 46.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为GB/T 6682规定的三级水。

46.2.2.1 硫酸亚铁铵溶液（1.1 g/L）：准确称取0.55 g硫酸亚铁铵 $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 于含有0.5 mL浓硫酸（ $\rho_{20}=1.84 \text{ g/mL}$ ）的250 mL水中，冷却后用水稀释至500 mL，混匀。密闭保存。

46.2.2.2 氢氧化钠溶液（40 g/L）：称取20 g氢氧化钠（NaOH）于250mL水中，冷却后稀释至500 mL。密闭保存。

46.2.2.3 磷酸溶液（2.92 mol/L）：吸取300 mL水，然后加入100 mL磷酸（ $\rho_{20}=1.69 \text{ g/mL}$ ），冷却后稀释至500 mL。临用时配制。

46.2.2.4 4-氨基安替比林显色剂(1.0 g/L)：称取0.5 g 4-氨基安替比林（4-AAP， $\text{C}_{11}\text{H}_{13}\text{ON}_3$ ）溶于水并稀释至500 mL，保存在玻璃容器中，临用时配制。

46.2.2.5 铁氰化钾缓冲液(2.0 g/L)：称取2.0 g铁氰化钾 $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ，3.1 g硼酸( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )和3.75 g氯化钾(KCl)于800 mL水中，再加入氢氧化钠溶液直到溶液的PH值达到10.3，稀释至1 000 mL，混匀。保存在玻璃容器中，可保持一周内稳定。

46.2.2.6 挥发酚标准工作溶液 $[\rho(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})=1.0 \text{ mg/L}]$ ：同46.1.2.10。

注：可以根据不同仪器或型号的要求调整各种试剂的配制浓度。

#### 46.2.3 仪器和设备

46.2.3.1 流动注射分析仪：挥发酚反应单元和模块、500 nm比色检测器、自动进样器、多通道蠕动泵、数据处理系统。

46.2.3.2 玻璃器皿：容量瓶、移液管均为A级。

#### 46.2.4 分析步骤

46.2.4.1 标准系列的制备：吸取挥发酚标准工作溶液0 mL、0.20 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL及5.00 mL置于7个100 mL容量瓶中，用水定容至刻度。其质量浓度分别为0  $\mu\text{g/L}$ 、2.0  $\mu\text{g/L}$ 、5.0  $\mu\text{g/L}$ 、10.0  $\mu\text{g/L}$ 、20.0  $\mu\text{g/L}$ 、30.0  $\mu\text{g/L}$ 及50.0  $\mu\text{g/L}$ 。

#### 46.2.4.2 仪器操作

参考仪器说明书，输入系统参数，确定分析条件，并将工作条件调整至测挥发酚最佳状态。仪器参考条件见表25。

表 25 仪器参考条件

自动进样器	蠕动泵	加热蒸馏装置	流路系统	数据处理系统
初始化正常	转速设为35级，转动平稳	加热温度稳定于 $145 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$	无泄漏，试剂流动平稳	基线平直

46.2.4.3测定：流路系统稳定后，依次测定标准系列及试样。

注：所列测量其他受不同型号仪器的灵敏度及操作条件的影响而变化时，可酌情改变上述测量范围。

#### 46.2.5 分析结果的表述

以所测试样的吸光度，从校准曲线或回归方程中查得试样溶液中挥发酚的质量浓度（mg/L）。

#### 46.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的10%。

#### 46.2.7 其他

本方法定量限为2.0 μg/L。

### 47 阴离子合成洗涤剂

#### 47.1 亚甲蓝光谱法

##### 47.1.1 原理

亚甲蓝染料在水溶液中与阴离子合成洗涤剂形成易被有机溶剂萃取的蓝色化合物。未反应的亚甲蓝则仍留在水溶液中。根据有机相蓝色的强度，测定阴离子合成洗涤剂的含量。

##### 47.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

###### 47.1.2.1 三氯甲烷。

47.1.2.2 亚甲蓝溶液：准确称取 30 mg 亚甲蓝( $C_{16}H_{18}ClN_3 \cdot 3H_2O$ )，溶于 500 mL 水中，加入 6.8 mL 硫酸( $\rho_{20}=1.84$  g/mL)及 50 g 磷酸二氢钠( $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ )，用水溶解后，稀释至 1 000 mL。

47.1.2.3 洗涤液：称取 50 g 磷酸二氢钠，加 6.8 mL 硫酸( $\rho_{20}=1.84$  g/mL)，用水溶解后，稀释至 1 000 mL。

47.1.2.4 氢氧化钠溶液(40 g/L)：称取 4 g 氢氧化钠，用水溶解后，稀释至 100 mL。

47.1.2.5 硫酸溶液[ $c(1/2 H_2SO_4)=0.5$  mol/L]：吸取 2.8 mL 硫酸( $\rho_{20}=1.84$  g/mL)加入水中，并稀释至 100 mL。

47.1.2.6 十二烷基苯磺酸钠标准储备溶液[ $\rho(DBS)=1$  mg/mL]：称取 0.5000 g 十二烷基苯磺酸钠(简称 DBS,  $C_{12}H_{25}-C_6H_4SO_3Na$ )，溶于水中，定容至 500 mL。

47.1.2.7 十二烷基苯磺酸钠标准工作溶液[ $\rho(DBS)=10$  μg/mL]：吸取 10.00 mL 十二烷基苯磺酸钠标准储备溶液(47.1.3.6)于 1 000 mL 容量瓶，用水定容。

注：十二烷基苯磺酸钠标准溶液需用纯十二烷基苯磺酸钠配制。如无纯品，可用市售阴离子型洗衣粉提纯。方法如下：

将洗衣粉用热的乙醇[ $\varphi(C_2H_5OH)=95\%$ ]处理，滤去不溶物。再将滤液加热挥发去除部分乙醇，过滤，弃去滤液。将滤渣再溶于少量热的乙醇中，过滤，如此重复三次。然后于十二烷基苯磺酸钠乙醇溶液中加入等体积的水，用相当于溶液三分之一体积的石油醚(沸程 30 °C~60 °C)萃洗，分离出石油醚相，按同样步骤连续用石油醚洗涤 5 次，弃去石油醚。最后将十二烷基苯磺酸钠乙醇溶液蒸发至干，在 105 °C 烘烤，得到白色或淡黄色固体，即为纯品。

47.1.2.8 酚酞溶液(1g/L)：准确称取 0.1 g 酚酞( $C_{20}H_{14}O_4$ )，溶于乙醇[ $\varphi(C_2H_5OH)=95\%$ ]中并稀释至 100 mL。

##### 47.1.3 仪器和设备

47.1.3.1 分光光度计。

47.1.3.2 比色管：25 mL。

47.1.3.3 分液漏斗：125 mL。

##### 47.1.4 分析步骤

47.1.4.1 吸取 50.0 mL 水样，置于 125 mL 分液漏斗中(若水样中阴离子合成洗涤剂少于 5 μg，应增加水样体积。此时标准系列的体积也应一致；若多于 100 μg 时，应减少水样体积，并稀释至 50 mL)。另取 125 mL 分液漏斗 7 个，分别加入十二烷基苯磺酸钠标准工作溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL 和 5.00 mL，用水稀释至 50 mL。

47.1.4.2 向水样和标准系列中各加 3 滴酚酞溶液，逐滴加入氢氧化钠溶液，使水样呈碱性。然后再逐滴加入硫酸溶液，使红色刚褪去。加入 5 mL 三氯甲烷及 10 mL 亚甲蓝溶液，猛烈振摇半分钟，放置分层。若水相中蓝色耗尽，则应另取少量水样重新测定。将三氯甲烷相放入第二套分液漏斗中。

47.1.4.3 向第二套分液漏斗中加入 25 mL 洗涤液，猛烈振摇半分钟，静置分层。在分液漏斗颈管内，塞入少许洁净的玻璃棉(用以滤除水珠)，将三氯甲烷缓缓放入 25 mL 比色管中。各加 5 mL 三氯甲烷于分液漏斗中，振荡并放置分层后，合并三氯甲烷相于 25 mL 比色管中，同样再操作一次。最后用三氯甲烷稀释到刻度。

47.1.4.4 于波长 650 nm 处，用 3 cm 比色皿，以三氯甲烷作参比，测量吸光度。绘制校准曲线，从曲线上查出试样管中十二烷基苯磺酸钠的质量。

#### 47.1.5 分析结果的表述

试样中阴离子合成洗涤剂含量按式 (96) 计算：

$$\rho(\text{DBS}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \quad \dots\dots\dots (96)$$

式中：

$\rho(\text{DBS})$ ——水样中阴离子合成洗涤剂的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得阴离子合成洗涤剂的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

#### 47.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 47.1.7 其他

本方法定量限为 0.050 mg/L。

### 47.2 二氮杂菲萃取光谱法

#### 47.2.1 原理

水中阴离子合成洗涤剂与 Ferroin ( $\text{Fe}^{2+}$  与二氮杂菲形成的配合物) 形成橙红色离子缔合物，可被三氯甲烷萃取，其颜色深浅与阴离子合成洗涤剂含量成线性关系，于 510 nm 波长下测定吸光度。

#### 47.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

##### 47.2.2.1 三氯甲烷。

47.2.2.2 二氮杂菲溶液(2g/L)：称取 0.2 g 二氮杂菲(又名邻菲罗啉， $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )，溶于水中，加 2 滴盐酸 ( $\rho_{20}=1.18 \text{ g/mL}$ )，并用水稀释至 100 mL。

47.2.2.3 乙酸铵缓冲溶液：称取 250 g 乙酸铵( $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ )，溶于 150 mL 水中，加入 700 mL 冰乙酸，混匀。

47.2.2.4 盐酸羟胺-亚铁溶液：称取 10 g 盐酸羟胺 ( $\text{NH}_2\text{OH HCl}$ ) 和 0.211 g 硫酸亚铁铵 [ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ] 溶于水中，并稀释至 100 mL。

47.2.2.5 十二烷基苯磺酸钠(DBS)标准工作溶液 [ $\rho(\text{DBS})=10 \mu\text{g/mL}$ ]：同 47.1.2.7。

#### 47.2.3 仪器和设备

47.2.3.1 分光光度计；

47.2.3.2 分液漏斗：250 mL。

47.2.3.3 比色管：10 mL。

#### 47.2.4 分析步骤

47.2.4.1 吸取 100 mL 水样于 250 mL 分液漏斗中。另取 250 mL 分液漏斗 8 个，各加入 50 mL 水，再分别加入 DBS 标准工作溶液 0 mL、0.25 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、4.00 mL 及 5.00 mL，加水至 100 mL。

47.2.4.2 于水样及标准系列中各加 2 mL 二氮杂菲溶液、10 mL 缓冲液、1.0 mL 盐酸羟胺-亚铁溶液及 10

mL 三氯甲烷。每加入一种试剂均需摇匀。萃取振摇 2 min，静置分层，于分液漏斗颈部塞入一小团脱脂棉，分出氯仿相于干燥的 10 mL 比色管中，供测定。

47.2.4.3 于波长 510 nm 处，用 3 cm 比色皿，以三氯甲烷为参比，测量吸光度。绘制校准曲线，从曲线上查出试样管中阴离子合成洗涤剂的质量。

#### 47.2.5 分析结果的表述

试样中阴离子合成洗涤剂含量按式 (97) 计算：

$$\rho(\text{DBS}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (97)$$

式中：

$\rho(\text{DBS})$ ——水样中阴离子合成洗涤剂的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得阴离子合成洗涤剂的质量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

#### 47.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 47.2.7 其他

本方法定量限为 0.025 mg/L。

### 48 矿物油

#### 48.1 红外光谱法

##### 48.1.1 原理

用四氯化碳萃取水中的油类物质，然后将萃取液用硅酸镁吸附，经脱除动植物油等极性物质后，测定矿物油类。

矿物油类的含量由波数分别为  $2930 \text{ cm}^{-1}$  ( $\text{CH}_2$  基团中 C—H 键的伸缩振动)、 $2960 \text{ cm}^{-1}$  ( $\text{CH}_3$  基团中 C—H 键的伸缩振动)和  $3030 \text{ cm}^{-1}$  (芳香环中 C—H 键的伸缩振动)谱带处的吸光度  $A_{2930}$ 、 $A_{2960}$  和  $A_{3030}$  进行计算。

##### 48.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的二级水。

48.1.2.1 四氯化碳( $\text{CCl}_4$ )：在  $2600 \text{ cm}^{-1} \sim 3300 \text{ cm}^{-1}$  之间扫描，其吸光度应不超过 0.03(1 cm 比色皿、空气池作参比)。

注：四氯化碳有毒，操作时要谨慎小心，并在通风橱内进行。

48.1.2.2 硅酸镁：60 目~100 目。取硅酸镁于瓷蒸发皿中，置高温炉内  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  加热 2 h，在炉内冷至约  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  后，移入干燥器中冷至室温，于磨口玻璃瓶内保存。使用时，称取适量的干燥硅酸镁于磨口玻璃瓶中，根据干燥硅酸镁的重量，按 6%(质量比)的比例加适量的蒸馏水，密塞并充分振荡数分钟，放置约 12h 后使用。

48.1.2.3 吸附柱：内径 10 mm、长约 200 mm 的玻璃层析柱。出口处填塞少量用萃取溶剂浸泡并凉干后的玻璃棉，将已处理好的硅酸镁缓缓倒入玻璃层析柱中，边倒边轻轻敲打，填充高度为 80 mm。

48.1.2.4 无水硫酸钠( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )：在高温炉内  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  加热 2 h，冷却后装入磨口玻璃瓶中，干燥器内保存。

48.1.2.5 氯化钠( $\text{NaCl}$ )。

48.1.2.6 浓盐酸： $[\rho_{20}=1.19 \text{ g/mL}]$ 。

48.1.2.7 盐酸溶液：(1+5)。

48.1.2.8 氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )溶液：(50 g/L)。

48.1.2.9 硫酸铝 $[(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O})]$ 溶液：(130 g/L)。

48.1.2.10 正十六烷 $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_3]$ 。

48.1.2.11 姥鲛烷(2,6,10,14-四甲基十五烷)。

48.1.2.12 甲苯 $(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3)$ 。

### 48.1.3 仪器和设备

48.1.3.1 红外分光光度计：能在  $3400\text{cm}^{-1}$ ~ $2400\text{cm}^{-1}$  之间进行扫描操作，并配 1 cm 和 4 cm 带盖石英比色皿。

48.1.3.2 分液漏斗：1 000 mL，活塞上不得使用油性润滑剂。

48.1.3.3 容量瓶：50 mL、100 mL 和 1 000 mL。

48.1.3.4 玻璃砂芯漏斗：G-1 型 40 mL。

48.1.3.5 采样瓶：玻璃瓶。

### 48.1.4 分析步骤

#### 48.1.4.1 采样

油类物质要单独采样，不允许在实验室内再分样。采样时，应连同表层水一并采集，并在试样瓶上作一标记，用以确定试样体积。当只测定水中乳化状态和溶解性油类物质时，应避开漂浮在水体表面的油膜层，在水面下 20 cm~50 cm 处取样。当需要报告一段时间内油类物质的平均浓度时，应在规定的时间间隔分别采样而后分别测定。

#### 48.1.4.2 试样保存

试样如不能在 24 h 内测定，采样后应加盐酸酸化至  $\text{pH} \leq 2$ ，并于  $2\text{ }^\circ\text{C}$ ~ $5\text{ }^\circ\text{C}$  下冷藏保存。

#### 48.1.4.3 萃取

##### 48.1.4.3.1 直接萃取

将一定体积的水样全部倾入分液漏斗中，加盐酸酸化至  $\text{pH} \leq 2$ ，用 20 mL 四氯化碳洗涤采样瓶后移入分液漏斗中，加约 20 g 氯化钠，充分振荡 2 min，并经常开启活塞排气。静置分层后，将萃取液经已放置约 10 mm 厚度无水硫酸钠的玻璃砂芯漏斗流入容量瓶内。用 20 mL 四氯化碳重复萃取一次。取适量的四氯化碳洗涤玻璃砂芯漏斗，洗涤液一并流入容量瓶，加四氯化碳稀释至标线定容，并摇匀。

##### 48.1.4.3.2 絮凝富集萃取

水样中矿物油类含量较低时，采用絮凝富集萃取法。

往一定体积的水样中加 25 mL 硫酸铝溶液并搅匀，然后边搅拌边逐滴加入 25 mL 氢氧化钠溶液，待形成絮状沉淀后沉降 30 min，虹吸法弃去上层清液，加适量的盐酸溶液溶解沉淀，以下步骤按 48.1.4.3.1 进行。

#### 48.1.4.4 吸附

##### 48.1.4.4.1 硅酸镁吸附柱吸附法

取适量的萃取液通过硅酸镁吸附柱，弃去前约 5 mL 的滤出液，余下部分接入玻璃瓶用于测定矿物油类。如萃取液需要稀释，应在吸附前进行。

##### 48.1.4.4.2 振荡吸附法

称取 3 g 硅酸镁吸附剂，倒入 50 mL 磨口锥形瓶。加约 30 mL 萃取液，密塞。将锥形瓶置于康氏振荡器上，以不小于 200 次/min 的速度连续振荡 20 min。将振荡吸附后的萃取液经玻璃砂芯漏斗过滤，滤出液接入玻璃瓶用于测量矿物油类。如萃取液需要稀释，应在吸附前进行。

注：经硅酸镁吸附剂处理后，由极性分子构成的动、植物油被吸附，而非极性的矿物油类不被吸附。某些非动、植物油的极性物质(如含有  $-\text{C}=\text{O}$ 、 $-\text{OH}$  基团的极性化学品等)同时也被吸附，当水样中明显含有此类物质时，可在测试报告中加以说明。

#### 48.1.4.5 测定

##### 48.1.4.5.1 试样测定

以四氯化碳作参比溶液，使用适当光程的比色皿，在  $3400\text{ cm}^{-1}\sim 2400\text{ cm}^{-1}$  之间对硅酸镁吸附后滤出液(48.1.5.4)进行扫描，于  $3300\text{ cm}^{-1}\sim 2600\text{ cm}^{-1}$  之间划一直线作基线，在  $2930\text{ cm}^{-1}$ 、 $2960\text{ cm}^{-1}$  和  $3030\text{ cm}^{-1}$  处测量硅酸镁吸附后滤出液(48.1.4.4)的吸光度  $A_{2930}$ 、 $A_{2960}$  和  $A_{3030}$ ，并计算矿物油类的含量。

#### 48.1.4.5.2 校正系数测定

以四氯化碳为溶剂，分别配制  $100\text{ mg/L}$  正十六烷、 $100\text{ mg/L}$  姥鲛烷和  $400\text{ mg/L}$  甲苯溶液。用四氯化碳作参比溶液，使用  $1\text{ cm}$  比色皿，分别测量正十六烷、姥鲛烷和甲苯三种溶液在  $2930\text{ cm}^{-1}$ 、 $2960\text{ cm}^{-1}$ 、 $3030\text{ cm}^{-1}$  处的吸光度  $A_{2930}$ 、 $A_{2960}$  和  $A_{3030}$ 。

正十六烷、姥鲛烷和甲苯三种溶液在上述波数处的吸光度均服从于式(98)，由此得出的联立方程式经求解后，可分别得到相应的校正系数  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  和  $F$ 。

$$\rho = X \times A_{2930} + Y \times A_{2960} + Z \left( A_{3030} - \frac{A_{2930}}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (98)$$

式中：

$\rho$ ——萃取溶剂中化合物的含量，单位为毫克每升 (mg/L)；

$A_{2930}$ 、 $A_{2960}$  和  $A_{3030}$ ——各对应波数下测得的吸光度；

$X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ——与各种 C-H 键吸光度相对应的系数；

$F$ ——脂肪烃对芳香烃影响的校正因子，即正十六烷在  $2930\text{ cm}^{-1}$  和  $3030\text{ cm}^{-1}$  处的吸光度之比。

对于正十六烷(H)和姥鲛烷(P)，由于其芳香烃含量为零，即

$$A_{3030} - \frac{A_{2930}}{F} = 0$$

则有式 (99)、式 (100)、式 (101)：

$$F = A_{2930}(\text{H}) / A_{3030}(\text{H}) \quad \dots\dots\dots (99)$$

$$\rho(\text{H}) = X \times A_{2930}(\text{H}) + Y \times A_{2960}(\text{H}) \quad \dots\dots\dots (100)$$

$$\rho(\text{H}) = X \times A_{2930}(\text{P}) + Y \times A_{2960}(\text{P}) \quad \dots\dots\dots (101)$$

由式(99)可得  $F$  值，由式(100)和(101)可得  $X$  和  $Y$  值，其中  $\rho(\text{H})$  和  $\rho(\text{P})$  分别为测定条件下正十六烷和姥鲛烷的浓度(mg/L)。

对于甲苯(T)，其质量浓度按式 (102) 计算。

$$\rho(\text{T}) = X \times A_{2930}(\text{T}) + Y \times A_{2960}(\text{T}) + Z \left[ A_{3030}(\text{T}) - \frac{A_{2930}(\text{T})}{F} \right] \quad \dots\dots\dots (102)$$

由式 (102) 可得  $Z$  值，其中  $\rho(\text{T})$  为测定条件下甲苯的浓度(mg/L)。

可采用异辛烷代替姥鲛烷、苯代替甲苯，以相同方法测定校正系数。两系列物质，在同一仪器相同波数下的吸光度不一定完全一致，但测得的校正系数变化不大。

#### 48.1.4.5.3 校正系数检验

分别准确量取纯正十六烷、姥鲛烷和甲苯，按 5:3:1(体积比)的比例配成混合烃。

使用时根据所需浓度，准确称取适量的混合烃，以四氯化碳为溶剂配成适当浓度范围(如  $5\text{ mg/L}$ 、 $40\text{ mg/L}$ 、 $80\text{ mg/L}$  等)的混合烃系列溶液。

按 48.1.4.5.1 在  $2930\text{ cm}^{-1}$ 、 $2960\text{ cm}^{-1}$  和  $3030\text{ cm}^{-1}$  处分别测量混合烃系列溶液的吸光度  $A_{2930}$ 、 $A_{2960}$  和  $A_{3030}$ ，按式(101)计算混合烃系列溶液的浓度，并与配制值进行比较，如混合烃系列溶液浓度测定值的回收率在  $90\%\sim 110\%$  范围内，则校正系数可采用，否则应重新测定校正系数并检验，直至符合要求为止。

采用异辛烷代替姥鲛烷、苯代替甲苯测定校正系数时，用正十六烷、异辛烷和苯按 65:25:10(体积比)

的比例配制混合烃，然后按相同方法检验校正系数。

#### 48.1.4.6 空白试验

以水代替试样，加入与测定时相同体积的试剂，并使用相同光程的比色皿，按 48.1.4.5.1 中有关步骤进行空白试验。

#### 48.1.5 分析结果的表述

试样中矿物油类的含量按式 (103) 计算：

$$\rho = [X \times A_{2930} + Y \times A_{2960} + Z(A_{3030} - \frac{A_{2930}}{F})] \times \frac{V_0 \times D \times l}{V \times L} \dots\dots\dots (103)$$

式中：

$\rho$ ——矿物油类的含量，单位为毫克每升 (mg/L)；

$X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $F$ ——校正系数；

$A_{2930}$ 、 $A_{2960}$  和  $A_{3030}$ ——各对应波数下测得硅酸镁吸附后滤出液的吸光度；

$V_0$ ——萃取溶剂定容体积，单位为毫升 (mL)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

$D$ ——萃取液稀释倍数；

$l$ ——测定校正系数时所用比色皿的光程，单位为厘米 (cm)；

$L$ ——测定水样时所用比色皿的光程，单位为厘米 (cm)。

#### 48.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 48.1.7 其他

取样体积为 500 mL，使用 4 cm 的比色皿时，方法的最低检测质量为 0.1 mg/L；取样体积为 5 L，通过富集后其定量限为 0.01 mg/L。

### 48.2 非分散红外光度法

#### 48.2.1 原理

本方法利用油类物质的甲基(-CH<sub>3</sub>)和亚甲基(-CH<sub>2</sub>)在近红外区(2930 cm<sup>-1</sup>或 3.4 μm)的特征吸收进行测定。

#### 48.2.2 试剂和材料

48.2.2.1 标准油：污染源油(受污染地点水样的溶剂萃取物)；或将正十六烷、异辛烷和苯按 65:25:10(体积比)的比例配制。

48.2.2.2 标准油储备液 (1 000 mL)：准确称取 0.1000 g 标准油(48.2.2.1)，溶于适量的四氯化碳中，移入 100 ml 容量瓶，用四氯化碳稀释至刻度。

48.2.2.3 标准油工作液：根据测定范围的要求，取适量的标准油储备液(48.2.2.2)，用四氯化碳稀释成所需浓度。

48.2.2.4 其它试剂同 48.1.2.1~48.1.2.9。

#### 48.2.3 仪器和设备

红外分光光度计：能在 3200cm<sup>-1</sup>~2700cm<sup>-1</sup>之间进行扫描操作，并配适当光程的带盖石英比色皿。

非分散红外测油仪：能在 3.4 μm 的近红外区进行操作、测定。

其它仪器同 48.1.3.2~48.1.3.5。

#### 48.2.4 分析步骤

##### 48.2.4.1 采样和试样保存

同 48.1.4.1 和 48.1.4.2

##### 48.2.4.2 萃取

同 48.1.4.3。

#### 48.2.4.3 吸附

同 48.1.4.4。

#### 48.2.4.4 测定

##### 48.2.4.4.1 红外分光光度计

以四氯化碳作为参比溶液，使用适当光程的比色皿，从  $3200\text{ cm}^{-1}$ ~ $2700\text{ cm}^{-1}$  分别对标准油使用液、硅酸镁吸附后滤出液(48.2.4.3)进行扫描，在扫描区域内划一直线作基线，测量在  $2930\text{ cm}^{-1}$  处的最大吸收峰值，并用此吸光度减去该点基线的吸光度。以标准油使用液的吸光度为纵坐标、浓度为横坐标，绘制校准曲线。从校准曲线上查得硅酸镁吸附后滤出液(48.2.4.3)中矿物油类的含量。

##### 48.2.4.4.2 非分散红外测油仪

按仪器规定调整和校正仪器，根据仪器的测量步骤，测定硅酸镁吸附后的滤出液(48.2.4.3)中矿物油类的质量。

#### 48.2.5 分析结果的表述

试样中矿物油类的含量按式(104)计算：

$$\rho = \frac{\rho_1 \times V_0 \times D}{V} \quad \dots\dots\dots (104)$$

式中：

$\rho$ ——水样中矿物油类的含量，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1$ ——仪器测得硅酸镁吸附后滤出液中矿物油类的质量浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；

$V_0$ ——萃取溶剂定容体积，单位为毫升 (mL)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

$D$ ——萃取液稀释倍数。

#### 48.2.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 48.2.7 其他

本方法定量限为 0.05 mg/L。

### 48.3 称量法

#### 48.3.1 原理

水样经硫酸酸化后用石油醚萃取，然后蒸发去除石油醚，称量。计算水中矿物油的含量，此法测定的是酸化试样中可被石油醚萃取的、且在试验过程中不挥发的物质的总量。溶剂去除时，使得轻质油有明显损失。由于石油醚对油有选择地溶解，石油的较重成份中可能含有不为溶剂萃取的物质。

#### 48.3.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

48.3.2.1 硫酸( $\rho_{20}=1.84\text{ g/mL}$ )。

48.3.2.2 石油醚(沸程  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ )：经  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  水浴重蒸馏。

48.3.2.3 无水硫酸钠：于  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  干燥  $1\text{ h}$ ~ $2\text{ h}$ 。

48.3.2.4 氯化钠饱和溶液。

#### 48.3.3 仪器和设备

48.3.3.1 分液漏斗：1 000 mL。

48.3.3.2 恒温箱。

48.3.3.3 水浴锅。

#### 48.3.4 分析步骤

48.3.4.1 将试样瓶中的水样全部倾入 1 000 mL 分液漏斗中。记录瓶上标示的水样体积。加入 5 mL 硫酸，摇匀，放置 15 min。如采样瓶壁上有沾着的矿物油，应先用石油醚洗涤水样瓶，将石油醚并入分液漏斗中。

48.3.4.2 每次用 20 mL 石油醚，充分振摇萃取 5 min，连续萃取 2~3 次，弃去水样，合并石油醚萃取液于原分液漏斗中。每次用 20 mL 氯化钠饱和溶液洗涤石油醚萃取液 2~3 次。

48.3.4.3 将石油醚萃取液移入 150 mL 锥形瓶中，加入 5 g~10 g 无水硫酸钠脱水，放置过夜。用预先以石油醚洗涤的滤纸过滤，收集滤液于经 70 °C 干燥至恒量的烧杯中，用少量石油醚依次洗涤锥形瓶、无水硫酸钠和滤纸，合并洗液于滤液中。

48.3.4.4 将烧杯于 70 °C 水浴上蒸去石油醚。于 70 °C 恒温箱中干燥 1 h，取出烧杯于干燥器内，冷却 30 min 后称量（只需一次称量，不必称至恒重）。

### 48.3.5 分析结果的表述

试样中矿物质油的含量按式（105）计算。

$$\rho(B) = \frac{(m_1 - m_0) \times 1000}{V} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (105)$$

式中：

$\rho(B)$ ——水中矿物质油的含量，单位为毫克每升（mg/L）；

$m_0$ ——烧杯质量，单位为克（g）；

$m_1$ ——烧杯和萃取物质量，单位为克（g）；

$V$ ——水样体积，单位为毫升（mL）；

1 000——单位换算系数。

## 48.4 紫外光谱法

### 48.4.1 原理

矿物油组成中所含的具有共轭体系的物质在紫外区有特征吸收。具苯环的芳烃化合物主要吸收波长位于 250 nm~260nm；具共轭双键的化合物主要吸收波长位于 215 nm~230nm。一般原油的二个吸收峰位于 225 nm 和 256nm。其它油品如燃料油、润滑油的吸收峰与原油相近，部分油品仅一个吸收峰。经精炼的一些油品如汽油则无吸收。因此在测定中应注意选择合适的标准，原油和重质油可选 256 nm。轻质油可选 225 nm，有条件时可从污染的水体中萃取或从污染源中取得测定的标准物。

### 48.4.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

48.4.2.1 无水硫酸钠：经 400 °C 干燥 1 h，冷却后储存于密塞的试剂瓶中。

48.4.2.2 石油醚(沸程 60 °C~90 °C 或 30 °C~60 °C)：石油醚应不含芳烃类杂质。以水为参比在波长 256 nm 的透光率应大于 85%，否则应纯化。

注：石油醚脱芳烃方法——将 60 目~100 目的粗孔微球硅胶和 70 目~120 目中性层析用氧化铝于 150 °C~160 °C 加热活化 4 h，趁热装入直径 2.5 cm，长 75 cm 的玻璃柱中，硅胶层高 60 cm，覆盖 5 cm 氧化铝层。将石油醚通过该柱，收集流出液于洁净的试剂瓶中。

48.4.2.3 氯化钠。

48.4.2.4 硫酸溶液(1+1)。

48.4.2.5 矿物油标准储备溶液[ $\rho(\text{矿物油})=1 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 100.0 mg 标准矿物油，置于 100 mL 容量瓶中，加石油醚溶解，并稀释至刻度。

48.4.2.6 矿物油标准工作溶液[ $\rho(\text{矿物油})=10 \text{ } \mu\text{g/mL}$ ]：将矿物油标准储备溶液用石油醚稀释而成。

### 48.4.3 仪器和设备

48.4.3.1 紫外分光光度计：1 cm 石英比色皿。

48.4.3.2 分液漏斗：1 000 mL。

48.4.3.3 具塞比色管：10 mL。

#### 48.4.4 分析步骤

将水样(500 mL~1000 mL)全部倾入 1 000 mL 分液漏斗中，于每升水样中加入 5 mL 硫酸溶液，20 g 氯化钠，摇动使溶解。用 15 mL 石油醚洗涤采样瓶，将洗涤液倒入分液漏斗中，充分振摇 3 min(注意放气)，静置分层，将水样放入原采样瓶中，收集石油醚萃取液于 25 mL 容量瓶中。

另取 10 mL 石油醚按上述步骤再萃取一次，合并萃取液于 25 mL 容量瓶中，加石油醚至刻度，摇匀。用无水硫酸钠脱水。

于 8 支 10 mL 具塞比色管中，分别加入矿物油标准工作溶液 0.20 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、3.00 mL、5.00 mL、7.00 mL、10.0 mL，用石油醚稀释至刻度，配成含矿物油为 0.20 mg/L、0.50 mg/L、1.00 mg/L、2.00 mg/L、3.00 mg/L、5.00 mg/L、7.00 mg/L、10.0 mg/L 的标准系列。

于波长 256 nm 处，用 1 cm 石英比色皿，以石油醚为参比，测量试样和标准系列的吸光度。绘制校准曲线，从曲线上查出水样中的矿物油含量。

注：每次测量，包括标准液配制，萃取试样和参比溶剂均应使用同批石油醚。

#### 48.4.5 分析结果的表述

试样中矿物质油的含量按式(106)计算：

$$\rho(B) = \frac{\rho_1 \times V_1}{V} \dots\dots\dots (106)$$

式中：

$\rho(B)$ ——水中矿物油的含量，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_1$ ——相当于标准的矿物油的含量，单位为毫克每升 (mg/L)；

$V_1$ ——萃取液定容体积，单位为毫升 (mL)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)。

#### 48.4.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 48.4.7 其他

本方法定量限为 0.005 mg/L。

### 49 溴酸盐

#### 49.1 离子色谱法(氢氧根系统淋洗液)

##### 49.1.1 原理

水样中的溴酸盐和其它阴离子随氢氧化钾(或氢氧化钠)淋洗液进入阴离子交换分离系统(由保护柱和分析柱组成)，根据分析柱对各离子的亲和力不同进行分离，已分离的阴离子流经阴离子抑制系统转化成具有高电导率的强酸，而淋洗液则转化成低电导率的水，由电导检测器测量各种阴离子组分的电导率，以保留时间定性，峰面积或峰高定量。

##### 49.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的一级水。

##### 49.1.2.1 乙二胺(EDA)。

##### 49.1.2.2 溴酸钠：基准纯或优级纯。

49.1.2.3 溴酸盐标准储备溶液[ $\rho(\text{BrO}_3^-) = 1.0 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 0.1180 g 溴酸钠(基准纯或优级纯)，用水溶解，并定容到 100 mL 容量瓶中。置 4 °C 冰箱备用，可使用 6 个月。

49.1.2.4 溴酸盐标准中间溶液[ $\rho(\text{BrO}_3^-) = 10.0 \text{ mg/L}$ ]: 吸取 5.00 mL 溴酸盐标准储备溶液, 置于 500 mL 容量瓶中, 用水稀释至刻度。置 4 °C 冰箱下避光密封保存, 可保存 2 周。

49.1.2.5 溴酸盐标准工作溶液[ $\rho(\text{BrO}_3^-) = 1.00 \text{ mg/L}$ ]: 吸取 10.0 mL 溴酸盐标准中间溶液, 置于 100 mL 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 此标准工作溶液需当天新配。

49.1.2.6 乙二胺储备溶液[ $\rho(\text{EDA}) = 100 \text{ mg/mL}$ ]: 吸取 2.8 mL 乙二胺, 用水稀释至 25 mL, 可保存一个月。

49.1.2.7 氢氧化钾淋洗液: 由淋洗液自动电解发生器(或其它能自动电解产生淋洗液的设备)在线产生或手工配制氢氧化钾(或氢氧化钠)淋洗液。

### 49.1.3 仪器和设备

49.1.3.1 离子色谱仪。

49.1.3.2 电导检测器。

49.1.3.3 色谱工作站。

49.1.3.4 辅助气体: 高纯氮气, 纯度 99.99%。

49.1.3.5 进样器: 2.5 mL~10 mL 注射器。

49.1.3.6 0.45  $\mu\text{m}$  微孔滤膜过滤器

49.1.3.7 离子色谱仪器参数

阴离子保护柱: 填料为乙烯乙基苯二乙烯基苯共聚物, 50 mm $\times$ 4 mm; 阴离子分析柱: 填料为乙烯乙基苯二乙烯基苯共聚物, 官能团为烷醇季铵或烷基季铵, 250 mm $\times$ 4 mm; 阴离子抑制器: 电解自再生微膜抑制器; 抑制器电流: 75 mA; 淋洗液流速: 1.0 mL/min。

淋洗液梯度淋洗参考程序见表 26。

表 26 淋洗液梯度淋洗参考程序

时间(min)	氢氧化钾浓度(mmol/L)
0.0	10.0
10.0	10.0
10.1	35.0
18.0	35.0
18.1	10.0
23.0	10.0

### 49.1.4 分析步骤

49.1.4.1 水样采集与预处理: 用玻璃或塑料采样瓶采集水样, 对于用二氧化氯和臭氧消毒的水样需通入惰性气体(如高纯氮气) 5 min (1.0 L/min) 以除去二氧化氯和臭氧等活性气体; 加氯消毒的水样则可省略此步骤。

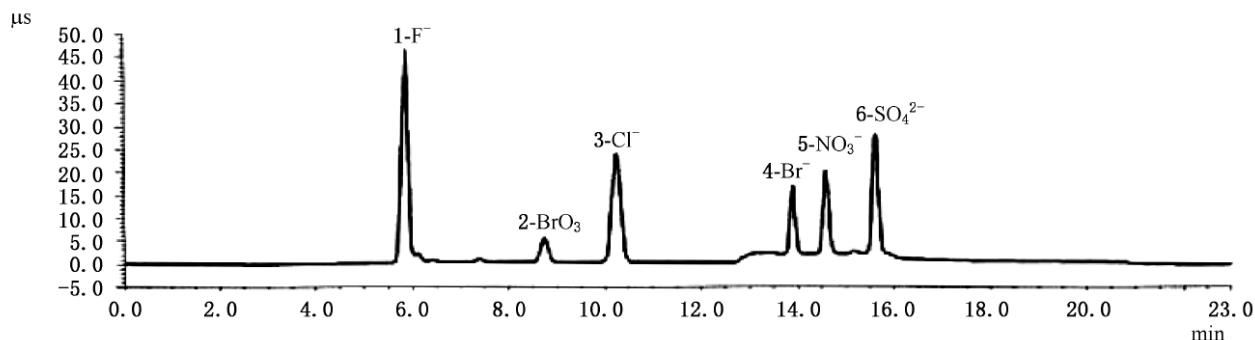
49.1.4.2 试样保存: 水样采集后密封, 置 4 °C 冰箱保存, 需在一周内完成分析。采集水样后加入乙二胺储备溶液至水样中浓度为 50 mg/L (相当于 1 L 水样加 0.5 mL 乙二胺储备溶液), 密封, 摇匀, 置 4 °C 冰箱可保存 28 天。

49.1.4.3 校准曲线的绘制: 取 6 个 100 mL 容量瓶, 分别加入溴酸盐标准工作溶液 0.50 mL、1.00 mL、2.50 mL、5.00 mL、7.50 mL、10.00 mL, 用水稀释到刻度。此系列标准溶液浓度为 5.00  $\mu\text{g/L}$ 、10.0  $\mu\text{g/L}$ 、25.0  $\mu\text{g/L}$ 、50.0  $\mu\text{g/L}$ 、75.0  $\mu\text{g/L}$ 、100  $\mu\text{g/L}$ , 当天新配。将标准系列溶液分别进样, 以峰高或峰面积(Y)对溶液的浓度(X)绘制校准曲线, 或计算回归方程。

49.1.4.4 将水样经 0.45  $\mu\text{m}$  微孔滤膜过滤器过滤, 对含有机物的水先经过 C18 柱过滤。

49.1.4.5 将预处理后的水样直接进样, 进样体积 500  $\mu\text{L}$ , 记录保留时间、峰高或峰面积。

49.1.4.6 离子色谱图、出峰顺序与保留时间(见图 6)



出峰顺序：1-氟化物，2-溴酸盐，3-氯化物，4-溴化物，5-硝酸盐，6-硫酸盐。

保留时间：氟化物 5.87min，溴酸盐 8.76 min，氯化物 10.25 min，溴化物 13.91 min，硝酸盐 14.60 min，硫酸盐 15.63 min。

图 6 混合标准溶液的色谱图

#### 49.1.5 分析结果的表述

溴酸盐的含量 ( $\mu\text{g/L}$ )，可以直接在校准曲线上查得。

#### 49.1.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 49.1.7 其他

本方法定量限为  $5 \mu\text{g/L}$ 。

### 49.2 离子色谱法（碳酸盐系统淋洗液）

#### 49.2.1 原理

水样中的溴酸盐和其他阴离子随碳酸盐系统淋洗液进入阴离子交换分离系统（由保护柱和分析柱组成），根据分析柱对各离子的亲和力不同进行分离，已分离的阴离子流经阴离子抑制系统转化成具有高电导率的强酸，而淋洗液则转化成低电导率的弱酸或水，由电导检测器测量各种阴离子组分的电导率，以保留时间定性，峰面积或峰高定量。

#### 49.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的一级水。

49.2.2.1 乙二胺（EDA）：同 49.1.2.1。

49.2.2.2 溴酸钠：同 49.1.2.2。

49.2.2.3 溴酸盐标准储备溶液 [ $\rho(\text{BrO}_3^-) = 1.0 \text{ mg/mL}$ ]：同 49.1.2.3。

49.2.2.4 溴酸盐标准中间溶液 [ $\rho(\text{BrO}_3^-) = 10.0 \text{ mg/L}$ ]：同 49.1.2.4。

49.2.2.5 溴酸盐标准工作溶液 [ $\rho(\text{BrO}_3^-) = 1.00 \text{ mg/L}$ ]：同 49.1.2.5。

49.2.2.6 乙二胺储备溶液 [ $\rho(\text{EDA}) = 100 \text{ mg/mL}$ ]：同 49.1.2.6。

49.2.2.7 碳酸钠储备液 [ $\rho(\text{CO}_3^{2-}) = 1.0 \text{ mol/L}$ ]：准确称取 10.60 g 无水碳酸钠（优级纯），用水溶解，于 100 mL 容量瓶中定容。置 4℃ 冰箱备用，可使用 6 个月。

49.2.2.8 氢氧化钠储备液 [ $\rho(\text{NaOH}) = 1.0 \text{ mol/L}$ ]：准确称取 4.00 g 氢氧化钠（优级纯），用水溶解，于 100 mL 容量瓶中定容。置 4℃ 冰箱备用，可使用 6 个月。

49.2.2.9 碳酸氢钠储备液 [ $\rho(\text{HCO}_3^-) = 1.0 \text{ mol/L}$ ]：准确称取 8.40 g 碳酸氢钠（优级纯），用水溶解，于 100 mL 容量瓶中定容。置 4℃ 冰箱备用，可使用 6 个月。

49.2.2.10 淋洗液使用液：吸取适量的碳酸钠储备液（49.2.2.7）和氢氧化钠储备液（49.2.2.8），或碳酸氢钠储备液（49.2.2.9），用水稀释，每日新配。

49.2.2.11 再生液 [ $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = 50 \text{ mmol/L}$ ]：吸取 6.80 mL 浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，移入装有 800 mL 水的 1 000 mL 容量瓶中，定容至刻度。（适用于化学抑制器）

### 49.2.3 仪器和设备

49.2.3.1 离子色谱仪。

49.2.3.2 电导检测器。

49.2.3.3 色谱工作站

49.2.3.4 辅助气体：高纯氮气，纯度 99.99%。

49.2.3.5 进样器：2.5 mL~10 mL 注射器。

49.2.3.6 微孔滤膜过滤器：0.45 μm

49.2.3.7 离子色谱仪器参数（示例）

分析系统 1：阴离子保护柱：填料为乙烯乙基苯二乙烯基苯共聚物；阴离子分析柱：填料为乙烯乙基苯二乙烯基苯共聚物，官能团为烷醇季铵或烷基季铵；阴离子抑制器：电解自再生微膜抑制器；抑制器电流：53 mA；淋洗液：7.2 mmol/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+2.0 mmol/L NaOH；淋洗液流速：1.00 mL/min。

分析系统 2：阴离子保护柱：填料为乙烯乙基苯二乙烯基苯共聚物；阴离子分析柱：填料为乙烯乙基苯二乙烯基苯共聚物，官能团为烷醇季铵或烷基季铵；阴离子抑制器：电解自再生微膜抑制器；淋洗液：3.2 mmol/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+1.0 mmol/L NaHCO<sub>3</sub>；淋洗液流速：0.65 mL/min。

### 49.2.4 分析步骤

49.2.4.1 水样采集与预处理：同 49.1.4.1。

49.2.4.2 试样保存：同 49.1.4.2。

49.2.4.3 校准曲线的绘制：同 49.1.4.3。

49.2.4.4 水样过滤：同 49.1.4.4。

49.2.4.5 将预处理后的水样直接进样，进样体积 40 μL~100 μL，记录保留时间、峰高或峰面积。

49.2.4.6 离子色谱图、出峰顺序与保留时间（见图 7、图 8 和表 27、表 28）

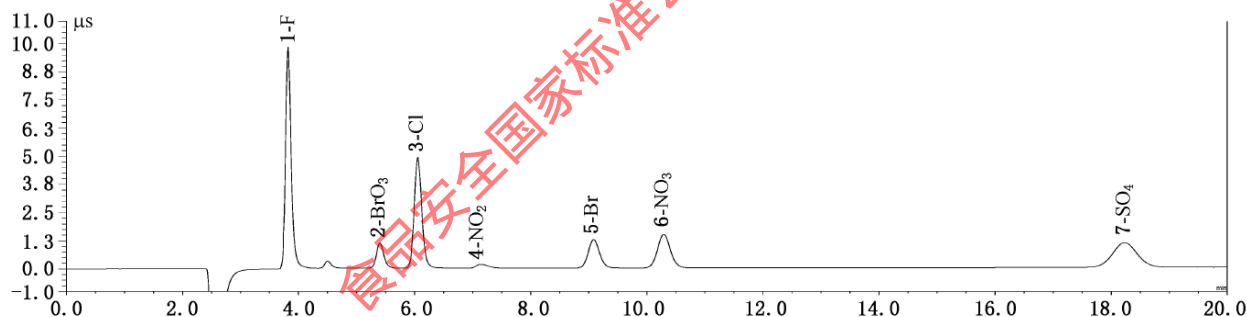


图 7 用 IonPac AS9-HC 分析柱分离的混合标准溶液的色谱图

(7.2 mmol/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+2.0 mmol/L NaOH 淋洗液，进样体积 100 μL)

表 27 IonPac AS9-HC 分析柱出峰顺序与保留时间

出峰顺序	名称	保留时间 min	浓度 mg/L
1	氟化物	3.817	1.00
2	溴酸盐	5.403	1.00
3	氯化物	6.053	1.00
4	亚硝酸盐	7.147	1.00
5	溴化物	9.083	1.00
6	硝酸盐	10.290	1.00
7	硫酸盐	18.233	1.00

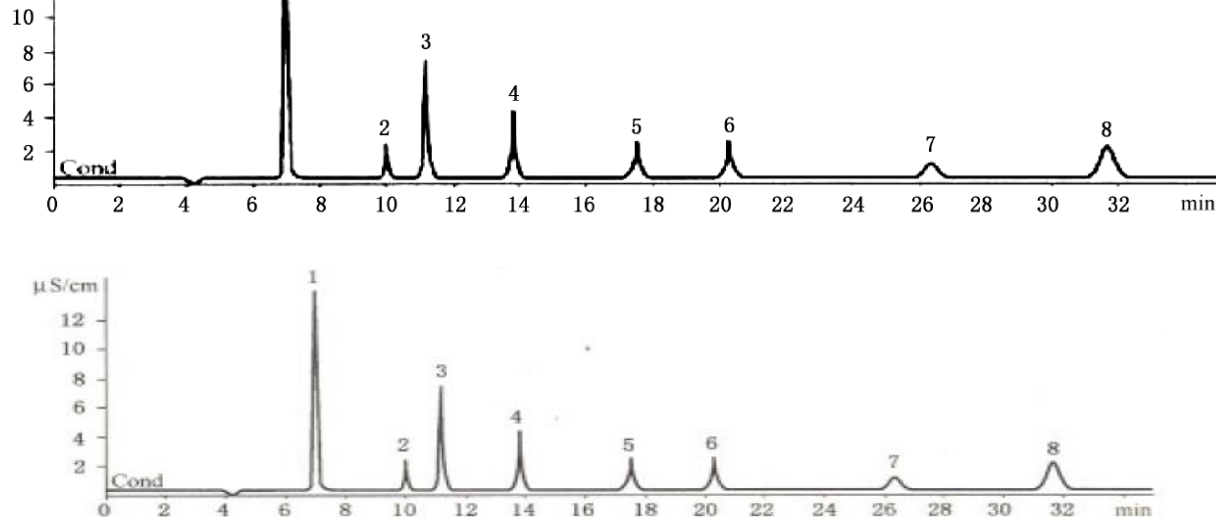


图 8 用 Metrosep A Supp 5-250 分析柱分离的混合标准溶液的色谱图

(3.2 mmol/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+1.0 mmol/L NaHCO<sub>3</sub>淋洗液, 进样体积 40 μL)

表 28 Metrosep A Supp 5-250 分析柱出峰顺序与保留时间

出峰顺序	名称	保留时间 min	浓度 mg/L
1	氟化物	6.96	1.00
2	溴酸盐	9.98	1.00
3	氯化物	11.18	1.00
4	亚硝酸盐	13.79	1.00
5	溴化物	17.50	1.00
6	硝酸盐	20.29	1.00
7	磷酸盐	26.35	1.00
8	硫酸盐	31.65	1.00

#### 49.2.5 分析结果的表述

溴酸盐的含量 (μg/L), 可以直接在校准曲线上查得。

#### 49.2.6 精密度

在重复性条件下, 获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 49.2.7 其他

本方法定量限为 5.0 μg/L。

### 50 硫化物

#### 50.1 对二氨基苯胺光谱法

##### 50.1.1 原理

硫化物与对二氨基苯胺及三氯化铁作用, 生成稳定的可溶性亚甲蓝染料。颜色的深浅与硫化物含量成正比。

##### 50.1.2 试剂和材料

除非另有规定, 本方法中所用试剂均为分析纯, 水为 GB/T 6682 规定的三级水。

50.1.2.1 乙酸锌溶液(220 g/L): 称取 22 g 乙酸锌[Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O]溶于水, 并稀释至 100 mL。

50.1.2.2 氢氧化钠溶液[c(NaOH)=1 mol/L]: 称取 40 g 氢氧化钠溶于水, 并稀释至 1000 mL。

50.1.2.3 对二氨基苯胺溶液(7.5 g/L): 准确称取 0.75 g 对二氨基苯胺硫酸盐[(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>NH<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]溶于 50 mL 水中, 加硫酸溶液(1+1)至 100 mL, 混匀, 保存于棕色瓶中。

50.1.2.4 氯化铁溶液(1000 g/L): 称取 100 g 氯化铁(FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O)溶于水, 并稀释至 100 mL。

50.1.2.5 碘溶液 $[c(1/2I_2)=0.1 \text{ mol/L}]$ : 称取 40 g 碘化钾(KI), 加水 25 mL 溶解, 再加 13 g 碘, 搅拌使完全溶解, 用水稀释至 1000 mL, 滴加 3 滴浓盐酸, 盛于棕色瓶中, 保存在暗处。

50.1.2.6 碘溶液 $[c(1/2I_2)=0.01 \text{ mol/L}]$ : 由 0.1 mol/L 碘溶液(50.1.2.5)稀释 10 倍而得。

50.1.2.7 淀粉溶液(5 g/L): 称取 0.5 g 可溶性淀粉, 用少量水调成糊状, 用刚煮沸的水稀释至 100 mL, 冷却后加 0.1 g 水杨酸或 0.4 g 氯化锌。

50.1.2.8 混合试剂: 取对二乙氨基苯胺溶液和氯化铁溶液按 10:0.5 混匀, 现用现配。

50.1.2.9 硫代硫酸钠标准溶液 $[c(Na_2S_2O_3)=0.1000 \text{ mol/L}]$ : 称取 25 g 硫代硫酸钠( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ )溶于煮沸放冷的水中, 并加水稀释至 1 000 mL。加 0.4 g 氢氧化钠或 0.2 g 无水碳酸钠, 贮存在棕色瓶内, 可保存数月。按下述方法标定浓度:

取碘酸钾( $KIO_3$ )在 105 °C 烘烤 1 h, 置于硅胶干燥器内冷却 30 min, 准确称取两份各约 0.15 g, 精确到 0.0001 g, 分别放入 250 mL 碘量瓶中。各加 100 mL 水, 待碘酸钾溶解后, 各加 3 g 碘化钾, 10 mL 冰乙酸, 在暗处静置 10 min, 用待标定的硫代硫酸钠溶液滴定, 至溶液呈淡黄色时, 加入 1 mL 淀粉溶液, 继续滴定至蓝色褪去为止。记录硫代硫酸钠溶液的用量, 并按式 (107) 计算出硫代硫酸钠溶液的浓度:

$$c(Na_2S_2O_3) = \frac{m}{V \times 0.03567} \quad \dots\dots\dots (107)$$

式中:

$c(Na_2S_2O_3)$ ——硫代硫酸钠溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

$m$ ——碘酸钾的质量, 单位为克 (g);

0.03567——与 1.00 mL 硫代硫酸钠标准溶液 $[c(Na_2S_2O_3)=1.000 \text{ mol/L}]$ 相当的以克表示的碘酸钾的质量;

$V$ ——硫代硫酸钠标准溶液的用量, 单位为毫升 (mL)。

注: 两次标定结果之间相差不得大于 0.2%。

50.1.2.10 硫代硫酸钠溶液 $[c(Na_2S_2O_3)=0.010 \text{ mol/L}]$ : 取经过标定的硫代硫酸钠溶液, 用煮沸冷却的水稀释成 0.010 mol/L 的标准溶液。

50.1.2.11 硫化物标准储备溶液(0.1 mg/mL): 取硫化钠晶体( $Na_2S \cdot 9H_2O$ ), 用少量水清洗表面, 并用滤纸吸干。准确称取 0.2 g~0.3 g, 用煮沸放冷的水溶解并定容至 250 mL(临用前制备并标定)。此溶液 1 mL 约含 0.1 mg 硫化物( $S^{2-}$ )。标定方法如下:

取 5 mL 乙酸锌溶液于 250 mL 碘量瓶中, 准确加入 10.00 mL 硫化钠溶液及 20.00 mL 碘溶液, 同时用水代替硫化钠溶液作空白试验。各加 5 mL(1+9)盐酸溶液, 摇匀, 于暗处放置 15 min。加 30 mL 水, 用硫代硫酸钠标准溶液滴定, 至溶液呈淡黄色时, 加 1 mL 淀粉溶液, 继续滴定至蓝色消失为止。按下式计算每毫升硫化物溶液含  $S^{2-}$  的毫克数。

$$\rho(S^{2-}) = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 16}{10} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (108)$$

式中:

$\rho(S^{2-})$ ——硫化物的含量, 单位为毫克每升 (mg/L);

$V_1$ ——空白所消耗的硫代硫酸钠标准溶液的体积, 单位为毫升 (mL);

$V_2$ ——硫化钠溶液所消耗的硫代硫酸钠标准溶液的体积, 单位为毫升 (mL),

$c$ ——硫代硫酸钠溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

16——与 1.00 mL 硫代硫酸钠标准溶液 $[c(Na_2S_2O_3)=1.000 \text{ mol/L}]$ 相当的以毫克表示的  $S^{2-}$  质量。

1 000——换算系数。

50.1.2.12 硫化物标准工作溶液(10.0 $\mu$ g/mL): 取一定体积的硫化钠标准储备溶液, 加乙酸锌溶液(50.1.2.1)1 mL, 用煮沸放冷的水定容至 50 mL, 此溶液保存于冰箱中, 可使用数日, 每次使用前充分混匀。

### 50.1.3 仪器和设备

50.1.3.1 碘量瓶：250 mL。

50.1.3.2 具塞比色管：50 mL。

50.1.3.3 磨口洗气瓶：125 mL。

50.1.3.4 高纯氮气钢瓶。

50.1.3.5 分光光度计。

### 50.1.4 采样

在 500 mL 干净的硬质玻璃瓶中，加入 1 mL 乙酸锌溶液和 1 mL 氢氧化钠溶液，然后注入水样(近满，留少许空隙)，盖好瓶塞，反复摇动混匀，密封，带回实验室测定。

### 50.1.5 分析步骤（适用于清洁水样）

50.1.5.1 取均匀水样(50.1.4)适量(含  $S^{2-}$  小于 10  $\mu\text{g}$ )，用水稀释至 50 mL。

50.1.5.2 取 50 mL 比色管 7 支，各加水约 40 mL，再加硫化物标准工作溶液 0 mL, 0.1 mL, 0.2 mL, 0.4 mL, 0.6 mL, 0.8 mL 和 1.0 mL，加水至刻度，混匀。

50.1.5.3 向水样管和标准管各加 1.0 mL 显色剂(50.1.2.8)，立即摇匀，放置 20 min。

50.1.5.4 以水作参比，用 3 cm 比色皿于 665 nm 处测定试样和标准系列溶液的吸光度。

50.1.5.5 绘制校准曲线，从曲线上查出试样中硫化物含量。

### 50.1.6 分析结果的表述

试样中硫化物 ( $S^{2-}$ ) 的含量按式 (109) 计算：

$$\rho(S^{2-}) = \frac{m \times 1000}{V \times 1000} \dots\dots\dots (109)$$

式中：

$\rho(S^{2-})$ ——水样中硫化物( $S^{2-}$ )的含量，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查得试样中硫化物( $S^{2-}$ )的含量，单位为微克 ( $\mu\text{g}$ )；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

### 50.1.7 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 50.1.8 其他

本法定量限为 0.01 mg/L。

## 50.2 碘量法

### 50.2.1 原理

水中硫化物与乙酸锌作用，生成碘化锌沉淀，将此沉淀溶解于酸中，在酸性溶液中，硫离子与标准碘液反应，然后用硫代硫酸钠滴定过量的碘。

### 50.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

50.2.2.1 氢氧化钠溶液 [ $c(\text{NaOH})=1 \text{ mol/L}$ ]：称取 40 g 氢氧化钠(NaOH)溶于水，并稀释至 1 000 mL。

50.2.2.2 碘溶液 [ $c(1/2I_2)=0.025 \text{ mol/L}$ ]：由 50.1.2.5 碘溶液稀释。

50.2.2.3 盐酸( $\rho_{20}=1.10 \text{ g/mL}$ )。

50.2.2.4 硫代硫酸钠标准溶液 [ $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)=0.025 \text{ mol/L}$ ]：由 50.1.2.9 储备溶液稀释。

50.2.2.5 淀粉溶液(5 g/L)：同 50.1.2.7。

### 50.2.3 仪器和设备

50.2.3.1 碘量瓶：250 mL。

50.2.3.2 滴定管：25 mL。

50.2.4 采样

同 50.1.4。

#### 50.2.5 分析步骤

50.2.5.1 定量取混匀的水样，用滤纸过滤，以水洗涤滤纸和沉淀物。

50.2.5.2 将沉淀物连同滤纸置于 250 mL 碘量瓶中，用玻璃棒将滤纸捣碎，加 50 mL 水及 10.00 mL 碘溶液（应保持有碘的颜色，如碘溶液褪色应定量补加）。另取 50 mL 水和滤纸作空白试验。

50.2.5.3 分别加入 5 mL 浓盐酸，暗处放置 10 min，用硫代硫酸钠标准溶液(50.2.2.4)滴定过量的碘，至溶液呈淡黄色时，加入 1 mL 淀粉溶液(50.2.2.5)，继续滴定至蓝色刚消失为止，记录硫代硫酸钠标准溶液的用量。

#### 50.2.6 分析结果的表述

试样中硫化物 ( $S^{2-}$ ) 的含量按式 (110) 计算：

$$\rho(S^{2-}) = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 16}{V} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (110)$$

式中：

$\rho(S^{2-})$ ——水样中硫化物的含量，单位为毫克每升 (mg/L)；

$V_1$ ——空白消耗硫代硫酸钠标准溶液的体积，单位为毫升 (mL)；

$V_2$ ——水样消耗硫代硫酸钠标准溶液的体积，单位为毫升 (mL)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

$c$ ——硫代硫酸钠标准溶液浓度，单位为摩尔每升 (mol/L)；

16——与 1.00 mL 硫代硫酸钠标准溶液 [ $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)=1.000 \text{ mol/L}$ ] 相当的以毫克为单位的  $S^{2-}$  的质量；

1000——毫升到升的换算系数。

#### 50.2.7 其他

本法适用于含量大于 1 mg/L 的饮用天然矿泉水及其水源水中硫化物的测定。

### 51 磷酸盐

#### 51.1 原理

在强酸性溶液中，磷酸盐与钼酸铵作用生成磷钼杂多酸，能被还原剂(氯化亚锡等)还原，生成蓝色的络合物，当磷酸盐的含量较低时，其颜色强度与磷酸盐的含量成正比。

#### 51.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

51.2.1 钼酸铵—硫酸溶液：向约 70 mL 水中缓缓加入 28 mL 浓硫酸，稍冷，加入 2.5 g 钼酸铵。待固体完全溶解后，用水稀释至 100 mL。

51.2.2 氯化亚锡溶液(50 g/L)：加热溶解 5 g 氯化亚锡( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )于 5 mL 浓盐酸中，用水稀至 100 mL(此试剂不稳定，现用现配)。

51.2.3 活性炭：不含磷酸盐。

51.2.4 磷酸盐标准溶液 [ $\rho(\text{HPO}_4^{2-})=0.01 \text{ mg/mL}$ ]：准确称取 0.7165 g 在 105℃干燥的磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )，溶于水中，并定容至 1 000 mL，吸取 10.0 mL，用水准确定容至 500 mL。

#### 51.3 仪器和设备

51.3.1 具塞比色管：50 mL。

51.3.2 分光光度计。

#### 51.4 分析步骤

51.4.1 如果水样混浊或带色时，可事先在 100 mL 水样中加入少量活性炭，充分振摇 1 min，用中等密度干滤纸过滤后，再行测定。

51.4.2 取 50.0 mL 水样置于 50 mL 比色管中，加入 4 mL 钼酸铵-硫酸溶液，摇匀。加入 1 滴氯化亚锡溶液，再摇匀，10 min 后目视比色或于 650 nm 波长处测其吸光度。

51.4.3 分别吸取磷酸盐的标准溶液 0 mL、0.50 mL、1.00 mL、2.00 mL、4.00 mL、6.00 mL、8.00 mL、10.00 mL，置于 50 mL 比色管中，加水至 50 mL，然后按水样测定步骤进行，目视比色或绘制校准曲线。

#### 51.5 分析结果的表述

试样中磷酸盐的含量按式 (111) 计算：

$$\rho(\text{HPO}_4^{2-}) = \frac{m \times 1000}{V} \quad \dots\dots\dots (111)$$

式中：

$\rho(\text{HPO}_4^{2-})$ ——水样中磷酸盐的含量，单位为毫克每升 (mg/L)；

$m$ ——从校准曲线上查出的水样中磷酸盐的含量，单位为毫克 (mg)；

$V$ ——水样体积，单位为毫升 (mL)；

1 000——单位换算系数。

#### 51.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 51.7 其他

本方法定量限为 10 mg/L。

### 52 总 $\beta$ 放射性

#### 52.1 薄样法

##### 52.1.1 原理

矿泉水中总  $\beta$  放射性浓度一般较低，可用蒸发方式使水中放射性核素浓集到少量固体残渣上，再把固体残渣制成薄源测量总  $\beta$  放射性。

在固体介质中， $\beta$  射线有较强的自吸收作用，把测量源制成自吸收作用可以忽略的薄源，其对应的重量叫最大取样量。

若已知氯化钾标准源重量，浓缩后的水样残渣重量，水样体积，直接测量标准物和试样物的薄源的  $\beta$  放射性，便可计算出水中总  $\beta$  放射性浓度。

##### 52.1.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

52.1.2.1 盐酸溶液(1+6)。

52.1.2.2 氯化钾 (优级纯)。

##### 52.1.3 仪器和设备

52.1.3.1 电热恒温干燥箱。

52.1.3.2 天平：感量 0.1 mg。

52.1.3.3 干燥器。

52.1.3.4 烧杯：2 000 mL。

52.1.3.5 瓷坩锅：52 mL。

52.1.3.6 马弗炉。

52.1.3.7 玛瑙研钵。

52.1.3.8 瓷蒸发皿：52 mL。

52.1.3.9 低本底 β 测量仪。

#### 52.1.4 分析步骤

##### 52.1.4.1 试样处理

52.1.4.1.1 取 1 L 水样倒入 2 000 mL 烧杯中，缓慢加热至沸，蒸发浓缩。若水样残渣不够制源时，可以添加水样，但要控制每次加入水样后体积不得超过烧杯容积的一半。

52.1.4.1.2 将烧杯中少量浓缩液连同沉淀一并转入已灼烧称量的瓷坩锅中，用少量盐酸溶液洗涤烧杯 2~3 次，洗涤液转入坩锅中，在红外灯下蒸干。

52.1.4.1.3 将坩锅置于马福炉中，在 452 °C~520 °C 下灼烧 30 min，放入干燥器中冷却至室温，称重，求出残渣总重量。研细残渣，混匀。

##### 52.1.4.2 测量

###### 52.1.4.2.1 标准源和试样源的最大取样量测定

a) 取一定量氯化钾，放入玛瑙研钵中研细，转入瓷蒸发皿，放入电热恒温干燥箱，在 120 °C 下烘 30 min，在干燥器中冷却至室温。

b) 用氯化钾粉末制成一系列厚度不等的测量源，分别在低本底 β 测量仪上测量 β 计数，算出不同厚度测量源的 β 计数率。

c) 以不同厚度的氯化钾测量源 β 净计数率对取样量(mg)作图，曲线开始弯曲处对应的取样量即为氯化钾标准源的最大取样量。

d) 制备试样源的最大取样量可以参考[52.1.4.2.1. c)]所述方法实际测定，也可以直接引用氯化钾标准源的最大取样量。

###### 52.1.4.2.2 标准源制备

准确称取小于最大取样量的氯化钾，均匀铺在测量试样盘内，氯化钾的比活度为  $1.47 \times 10^{-2}$  Bq/mg。

###### 52.1.4.2.3 试样源的制备

准确称取小于最大取样量的水样浓缩残渣固体粉末[52.1.4.2.1. d) ]。

###### 52.1.4.2.4 放射性测量

在低本底 β 测量仪上，按相同的几何条件，分别测量氯化钾标准源和试样源的 β 放射性，同时测量仪器的本底计数。

##### 52.1.5 分析结果的表述

试样中总 β 放射性按式 (112) 计算：

$$C_{\beta} = \frac{1.47 \times 10^{-2} \times W_k \times W_t \times (n_x - n_0)}{Y \times V \times W_x \times (n_k - n_0)} \quad \dots\dots\dots (112)$$

式中：

$C_{\beta}$ ——水的总 β 放射性，单位为贝克每升(Bq/L)；

$W_k$ ——制备标准源的氯化钾重量，单位为毫克 (mg)；

$W_t$ ——水样蒸发浓缩制得的固体残渣总重，单位为毫克 (mg)；

$W_x$ ——制备标准源的固体残渣重量，单位为毫克 (mg)；

$Y$ ——化学回收率，可取作 100%；

$V$ ——蒸发浓缩水样的体积，单位为升 (L)；

$n_k$ ——氯化钾标准液 β 计数率，单位为以每分钟计数 (Cpm)；

$n_x$ ——试样源 β 计数率，单位为以每分钟计数 (Cpm)；

$n_0$ ——测量装置本底计数率，单位为以每分钟计数（Cpm）。

当矿泉水中的总  $\beta$  放射性  $>1.0$  Bq/L 时，应减去钾  $^{40}$  的  $\beta$  放射性，按式（113）计算：

$$A = C_{\beta} - \rho_k \times 2.64 \times 10^{-2} \quad \dots\dots\dots (113)$$

式中：

$A$ ——水样减去钾  $^{40}$  总  $\beta$  放射性，单位为贝克每升(Bq/L)；

$C_{\beta}$ ——水样总  $\beta$  放射性，单位为贝克每升(Bq/L)，

$\rho_k$ ——水样钾的浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$2.64 \times 10^{-2}$ ——1 mg 天然钾的放射性，单位为贝克每毫克(Bq/mg)。

## 52.1.6 其他

本方法最低检测浓度为 0.01 Bq/L。

## 52.2 活性炭吸附法

### 52.2.1 原理

在 pH 为 4 的条件下，利用活性炭和硫酸钡将水中放射性物质沉淀和吸附下来，使水中的放射性物质浓集于活性炭和硫酸钡中，将沉淀灼烧，制成试样薄源后测定总  $\beta$  放射性。

### 52.2.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

#### 52.2.2.1 硫酸溶液(1+1)。

#### 52.2.2.2 氯化钡溶液（0.4%）。

#### 52.2.2.3 氨水(1+1)。

#### 52.2.2.4 乙二胺四乙酸二钠(EDTA)溶液（1%）。

#### 52.2.2.5 无灰滤纸。

#### 52.2.2.6 活性炭

将 20 g 活性炭浸泡于 200 mL EDTA 溶液中，或 200 mL 1% 的盐酸溶液中，搅拌后放置过夜。倾去上清液，然后抽滤，用蒸馏水洗活性炭至中性，转入电热恒温干燥箱中，在 105 °C 下烘干。

### 52.2.3 仪器和设备

#### 52.2.3.1 电热恒温干燥箱。

#### 52.2.3.2 马弗炉。

#### 52.2.3.3 干燥器。

#### 52.2.3.4 烧杯：1 000 mL。

#### 52.2.3.5 瓷坩锅：30 mL。

#### 52.2.3.6 不锈钢试样测量盘：直径 20 mm。

#### 52.2.3.7 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 标准源：直径 20 mm。

### 52.2.4 分析步骤

#### 52.2.4.1 试样处理

52.2.4.1.1 取水样 1 L 于 1 000 mL 烧杯中，加入 4 mL 氯化钡溶液，在搅拌下慢慢滴加硫酸溶液，充分搅拌使沉淀完全。

52.2.4.1.2 用氨水溶液调节 pH 为 4，加入 0.5 g 活性炭，搅拌 3 min~5 min，静置 15 min 左右，待其澄清。

52.2.4.1.3 用无灰滤纸过滤，用 pH=4~5 的水洗滤渣 3 次~4 次。

52.2.4.1.4 将滤纸和滤渣一起转入瓷坩锅内，在电炉上炭化后，再在马福炉内 600 °C 灰化完全，取出瓷坩锅在干燥器内冷却至室温。

## 52.2.4.2 测量

### 52.2.4.2.1 试样源的制备和放射性测量

将坩锅内试样灰研细，把全部试样灰(约 20 mg 左右)均匀铺于直径为 20 mm 的测量盘内，制成试样源，在低本底 β 测量仪上测量试样源的 β 放射性。

### 52.2.4.2.2 测量仪器计数效率的测量

按照测量试样源的几何条件，在低本底 β 测量仪上测量  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  标准源的 β 计数，同时测量仪器的本底计数。计算该仪器计数效率。

## 52.2.5 分析结果的表述

试样中总 β 放射性按式 (114) 计算：

$$C_{\beta} = \frac{1.66 \times 10^{-2} \times (n_1 - n_0)}{V \times f_{\text{自}} \times K \times \eta \times f_{\text{立}}} = \dots\dots\dots(114)$$

式中：

$C_{\beta}$ ——水样的总 β 放射性，单位为贝克每升(Bq/L)；

$n_1$ ——试样源计数率，单位为以每分钟计数 (Cpm)；

$n_0$ ——测量仪器本底计数率，单位为以每分钟计数 (Cpm)；

$\eta$ ——测量仪器计数效率，%；

$V$ ——水样体积，单位为升 (L)；

$K$ ——回收率，可取 80%；

$f_{\text{自}}$ ——自吸收校正系数，取 0.94；

$f_{\text{立}}$ ——立体角修正系数，当标准放射源与试样的面积和几何位置不同时，需要作此修正。当矿泉水中总 β 放射性大于 1.0 Bq/L 时，应减去钾  $^{40}$  的 β 放射性，计算方法同 52.1.5。

## 52.2.6 其他

本方法适用于测定总 β 放射性大于 0.1 Bq/L 的饮用天然矿泉水及其水源水。

## 53 氡

### 53.1 原理

氡是一种放射性同位素，半衰期为 12.43 年，氡发射 β 射线。其能量为 18.6 keV，可用液体闪烁计数法测定其放射强度。氡的浓度用氡单位(TU)表示。

$$1(\text{TU}) = \frac{{}^3\text{H}}{1 \times 10^{18} \text{H}} \dots\dots\dots (115)$$

式中：

TU——相当于  $10^{18}$  个氢原子中含有一个氡原子。

水样经过常压蒸馏、电解富集，加入闪烁液混合均匀，在液体闪烁计数器内记数测量。

### 53.2 试剂和材料

53.2.1 纯铜屑(Cu)。

53.2.2 高锰酸钾( $\text{KMnO}_4$ )固体。

53.2.3 过氧化钠( $\text{Na}_2\text{O}_2$ )固体。

53.2.4 液氮( $\text{N}_2$ )。

53.2.5 石油醚。

53.2.6 本底水(TU<0.2)。

53.2.7 闪烁溶液(非离子表面活性剂型)。

53.2.8 氚标准溶液(100 dpm/g; dp m/g 为每克每分钟衰变数): 称取一定量标准氚水, 用无氚水稀释至 100 dpm/g。配制标准溶液的计算公式为 (116):

$$C = C_0 \times e^{-\lambda \Delta t} \quad \dots\dots\dots (116)$$

式中:

$C$ ——待配标准氚水的活度, 单位为每克每分钟衰变数 (dpm/g);

$C_0$ ——标准氚水出厂时标定活度, 单位为每克每分钟衰变数 (dpm/g);

$\lambda$ —— $\ln 2/12.43$ ;

$\Delta t$ ——配制标准溶液的时间与出厂标定时间的时差, 单位为年。

### 53.3 仪器和设备

53.3.1 液体闪烁计数器。

53.3.2 玻璃电解槽。

53.3.3 镍电极和铁电极。

53.3.4 真空红外线蒸馏炉。

53.3.5 卧式冰柜内装三分之二体积防冻液。

53.3.6 真空泵。

53.3.7 直流电流(100 V/10 A)。

53.3.8 液氮容器。

### 53.4 分析步骤

#### 53.4.1 水样处理

53.4.1.1 将本底水(无氚水)及水样分别倒入蒸馏瓶内, 加入约 1 g 铜屑, 少许高锰酸钾, 使水呈粉红色, 常压下蒸馏。

53.4.1.2 把蒸出的蒸馏水注入已盛有 2 g 过氧化钠的烧杯中, 待过氧化钠溶解后移至 200 mL 容量瓶中, 用蒸馏后的水样稀释至刻度, 摇匀。

53.4.1.3 把溶液移至玻璃电解槽内, 放入电极, 将电解槽移入冰柜内, 当防冻液温度保持在 1 °C~2 °C 时, 接通直流电源进行电解浓缩, 电解电流不超过 3 A, 电解至最终体积约 10 mL 时, 停止电解, 将电极取出。

53.4.1.4 将电解槽放入真空红外线蒸馏炉内, 接好玻璃接收瓶, 瓶外套以注入液氮的保温杯, 开真空泵和炉电源, 炉温控制在 80°C 进行真空蒸馏, 直至将槽内溶液全部蒸出, 并收集到接收瓶中。

53.4.1.5 蒸出液移至已称重的计数瓶内, 重新称重。计算浓缩后水的净重。并将这一批水样的重量调整至重量不得超过平均重量的 0.3 g, 调整方法是多的移出, 少的加入无氚水。

53.4.1.6 加入闪烁液 10 mL, 摇匀, 放入仪器进样室, 平衡 12 h 后开始测量。

#### 53.4.2 氚标准溶液

53.4.2.1 准确称约 20 g 氚标准溶液两份, 移至 200 mL 容量瓶内, 加入 2 g 过氧化钠, 用无氚水稀至刻度, 摇匀, 移入电解槽内进行电解, 操作方法同 53.4.1。

53.4.2.2 经过电解富集的标准溶液和本底水用来计算水样的电解效率。

53.4.2.3 取氚标准溶液和本底水各两份, 其重量与电解后经真空蒸馏所获得的水样重量基本相同, 加入闪烁液摇匀。同浓缩后的试样一同放入仪器测量, 未经电解的标准氚溶液和本底水用于计算仪器的计数效率。

#### 53.4.3 测量

仪器应在试样测量前 4 h 开机, 预热, 恒温, 选择所需的测量参数。当试样在仪器进样室避光, 静置

12 h 后，可将试样按顺序送入仪器内进行自动测量。每个水样的测量时间应大于 500 min。

### 53.5 分析结果的表述

#### 53.5.1 本底值

本底值按式 (117) 计算：

$$B = \frac{C}{t} \quad \dots\dots\dots (117)$$

式中：

$B$ ——本底计数率，单位为以每分钟计数 (Cpm)；

$C$ ——本底总计数；

$t$ ——本底测量总时间，单位为分钟 (min)。

#### 53.5.2 标准溶液计数率

标准氡溶液计数率按式 (118) 计算：

$$S_{ss} = \frac{C_s}{t_s} - B \quad \dots\dots\dots (118)$$

式中：

$S_{ss}$ ——标准氡溶液计数率单位为以每分钟计数 (Cpm)；

$C_s$ ——标准总计数；

$t_s$ ——标准测量总时间，单位为分钟 (min)。

#### 53.5.3 计数效率

仪器计数效率按式 (119) 计算：

$$CE = \frac{\frac{C_s}{t_s} - B}{M \times S \times D} \quad \dots\dots\dots (119)$$

式中：

$CE$ ——仪器计数效率；

$M$ ——标准重量，单位为克 (g)；

$S$ ——标样氡水活度，单位为每克每分钟衰变数 (dpm/g)；

$D$ ——从标定日期至计数日期的衰变系数(查氡衰变表)。

#### 53.5.4 电解效率

标样电解效率按式 (120) 计算：

$$EE_{es} = \frac{\frac{C_{es}}{t_{es}} - B_e}{M \times CE \times \left(\frac{V_0}{V_f}\right)_{es} \times S_{es} \times D} \quad \dots\dots\dots (120)$$

式中：

$EE_{es}$ ——标样电解效率；

$C_{es}$ ——电解标准总计数；

$t_{es}$ ——电解标准测量总时间，单位为分钟（min）；

$B_e$ ——电解本底计数率单位为以每分钟计数（Cpm）；

$M$ ——标准重量，单位为克（g）；

$V_0$ ——最初电解体积，单位为毫升（mL）；

$V_f$ ——最终电解体积，单位为毫升（mL）。

$(\frac{V_0}{V_f})_{es}$ ——电解的标样浓缩体积系数；  $S_{es}$ ——电解的标样溶液活度，单位为每克每分钟衰变数（dpm/g）。

### 53.5.5 电解分馏系数

电解分馏系数按式（121）计算：

$$\beta = \frac{\ln(\frac{V_0}{V_f})_{es}}{-\ln EE_{es}} \quad \dots\dots\dots (121)$$

式中：

$\beta$ ——电解分馏系数。

### 53.5.6 试样电解效率

试样电解效率按式（122）计算：

$$EE_s = (\frac{V_0}{V_f})_s^{-1/\beta} \quad \dots\dots\dots (122)$$

式中：

$EE_s$ ——试样电解效率；

$(\frac{V_0}{V_f})_s$ ——试样浓缩体积系数。

### 53.5.7 分析结果的表述

试样总计数按式（123）计算：

$$TU = \frac{\frac{C_{sa}}{t_{sa}} - B_e}{M \times CE \times (\frac{V_0}{V_f})_s \times EE_s \times D_1 \times K} \quad \dots\dots\dots (123)$$

式中：

$C_{sa}$ ——试样的总计数；

$t_{sa}$ ——试样计数的总时间，单位为分钟（min）；

$D_1$ ——从采样时间到分析时间的时间内氡衰变系数(查氡衰变表)；

$K$ —— $7.13 \times 10^{-3}$  dpm/g · TU。

### 53.5.8 标准偏差

标准偏差按式（124）计算：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \dots\dots\dots (124)$$

式中：

$S_{\text{标}}$ ——标准偏差；

$X_i$ ——试样计数；

$\bar{X}$  ——试样  $n$  次测定的平均计数；

$n$ ——测量次数。

### 53.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

### 53.7 其他

本方法定量限为 1 TU。

## 54 镭<sup>226</sup>放射性

### 54.1 原理

当 <sup>226</sup>Ra 与其子体核素 <sup>222</sup>Rn 达到平衡时，两者放射性活度相等。<sup>222</sup>Rn 的放射性活度可用射气闪烁法测定，从而间接测定 <sup>226</sup>Ra。

利用镭与钡能形成硫酸钡镭同晶共沉淀的性质，以硫酸钡为载体，共沉淀水样中的镭，使其得以富集。以碱性 EDTA 溶解沉淀，封闭于扩散器中积累 <sup>222</sup>Rn。

达平衡后，将 <sup>222</sup>Rn 转入闪烁室。闪烁室内壁涂有硫化锌荧光体，其原子受 <sup>222</sup>Rn 及其子体核素产生的入射线激发产生闪烁荧光，经光电倍增管转换，形成电脉冲输出。单位时间内产生的脉冲数与 <sup>222</sup>Rn 的放射性活度成正比。

### 54.2 试剂和材料

除非另有规定，本方法中所用试剂均为分析纯，水为 GB/T 6682 规定的三级水。

54.2.1 氯化钡溶液(100 g/L)：称取 50 g 氯化钡(BaCl<sub>2</sub>)，用水溶解后稀释至 500 mL。

54.2.2 硫酸溶液(1+1)：将 250 mL 硫酸( $\rho_{20}=1.84$  g/mL)在不断搅拌下缓慢倒入 250 mL 水中，冷却。

54.2.3 碱性 EDTA 溶液：称取 150 g 乙二胺四乙酸二钠[(CH<sub>2</sub>COO)<sub>2</sub>NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH<sub>2</sub>COO)<sub>2</sub>H<sub>2</sub>Na<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O]和 45 g 氢氧化钠，溶于水中，稀释至 1 000 mL。

54.2.4 液体镭标准源：0.5 Bq~52.00 Bq。

### 54.3 仪器和设备

54.3.1 室内氡钍分析仪：配 500 mL 闪烁室。

54.3.2 定标器。

54.3.3 真空泵。

54.3.4 扩散器：100 mL。

54.3.5 干燥管：30 mL~40 mL，内装氯化钙。

### 54.4 分析步骤

#### 54.4.1 检查仪器

检查定标器是否满足仪器说明书中给出的技术指标要求；检查探头与闪烁室联接部位有无漏光；检查闪烁室及其进气系统有无漏气。闪烁室慢性漏气检查方法：

将被检闪烁室送入氦气(操作方法见 54.4.7)，分别在放置 1 h 和放置 3 h 后测量计数率(方法见 54.4.8)，后者应高于前者约 10%，如相对差值很小，或为负值，则可判定被检闪烁室漏气。

#### 54.4.2 选择探测器阈电压和工作电压

54.4.2.1 将扩散器中液体镭标准源(54.2.4)所积累的氦气送入闪烁室(操作方法见 54.4.7)，放置 3 h 后，在各个甄别阈值点，测量不同工作电压下的计数率(方法见 54.4.8)，绘制出各甄别阈值点的高压-计数率关系曲线，从中选择“坪”长大于 60 V，“坪”斜小于 10%的曲线所对应的甄别阈值作为探测器的阈电压。

54.4.2.2 在选定的阈电压下，测量不同工作电压下的本底计数率(方法见 54.4.8)，绘制高压-本底计数率关系曲线，选择较低本底计数率(<0.05 计数  $s^{-1}$ )对应的高压为探测器的工作电压。

54.4.2.3 在选定的工作电压下，连续进行 15 次测量(方法见 54.4.8)，计算平均计数率  $N$  和标准偏差  $S$ ，如果  $S < 1.5N$ ，则稳定性合格，所选工作条件有效。否则需重新选择工作点。

#### 54.4.3 测定闪烁室本底值

在选定的工作条件下，分别测量各待用的闪烁室的本底计数率(方法见 54.4.8)，取多次测量的平均值。

#### 54.4.4 测定闪烁室校正因子

54.4.4.1 将装有液体镭标准源的扩散器，用真空泵驱尽其内部的氦气，旋紧其两口的螺旋夹，积累氦。记录镭源放射性活度和封闭时间。积累时间依  $^{226}\text{Ra}$  放射性活度而定，大于 20 Bq，积累 1 d~2 d；1 Bq~20 Bq，积累 3 d~8 d；小于 1 Bq，积累 10 d~15 d。

54.4.4.2 将积累的氦气送入已知本底的闪烁室内（操作方法见 54.4.7），测量计数率（方法见 54.4.8）。

#### 54.4.4.3 分析结果的表述

闪烁室的校正因子按式（125）计算：

$$K = \frac{A(1 - e^{-\lambda t})}{N - N_0} \quad \dots\dots\dots (125)$$

式中：

- $K$ ——闪烁室的校正因子，Bq/(计数  $s^{-1}$ )
- $A$ ——液体镭标准源的放射性活度，单位为贝克 (Bq)；
- $\bar{N}$ ——测得的液体镭标准源的平均计数率，计数  $s^{-1}$ ；
- $N_0$ ——闪烁室本底平均计数率，计数  $s^{-1}$ ；
- $1 - e^{-\lambda t}$ ——氦的积累函数；
- $\lambda$ ——氦的衰变常量， $0.00754 \text{ h}^{-1}$ ；
- $t$ ——氦的积累时间，h；
- $e$ ——自然对数的底。

#### 54.4.5 试样预处理

54.4.5.1 量取 1 L~5 L 酸化水样于烧杯中，加热至沸。加入 1.0 mL~1.5 mL 氯化钡溶液，在不断搅拌下，滴加 5 mL 硫酸溶液。保温 4 h 或放置过夜。

54.4.5.2 用虹吸法吸去上层清液，沿杯壁加入 30 mL 碱性 EDTA 溶液，加热溶解沉淀，使溶液清澈透明，蒸发浓缩至约 30 mL，冷却至室温。

#### 54.4.6 封样

54.4.6.1 将浓缩液通过小漏斗转入扩散器中，用少量水洗涤烧杯壁和小漏斗 3 次，洗涤液并入同一扩散器中。注意控制溶液体积为扩散器体积的三分之一左右。

54.4.6.2 将扩散器的一端与真空泵相接，另一端与大气相通，抽真空(注意控制速度，不可使溶液溢出)15 min~25 min，用空气洗带法清除积累的氦气。之后，将扩散器两端封闭。记录封闭时间和扩散器编号。积累氦 20 d~30 d。

#### 54.4.7 送气

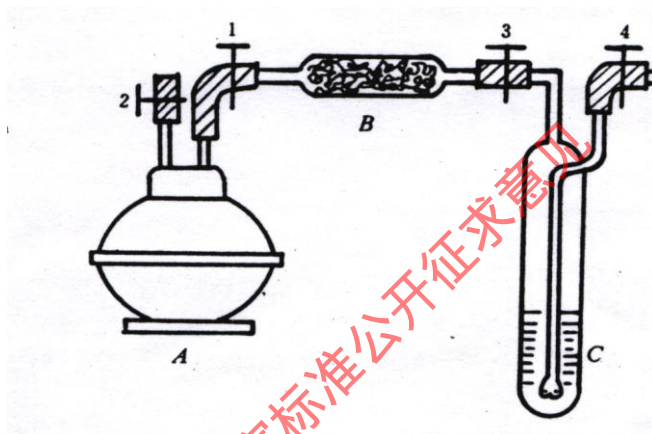
54.4.7.1 将闪烁室一端口与干燥管的一端用胶皮管连接，将干燥管的另一端通过胶皮管与扩散器的一端连接，如图 9 所示。

54.4.7.2 用真空泵将闪烁室和干燥管抽成真空(<1 kPa)，旋紧螺旋夹 1、2(螺旋夹 3、4 在封样时已被旋紧)，依次打开螺旋夹 3 和 1，使扩散器中的氦气及其子体进入闪烁室，此时扩散室内有气泡通过溶液。气泡消失后，缓缓旋开螺旋夹 4，控制进气速度使每分钟产生 100 个~120 个气泡。10 min 后调节螺旋夹 4，使鼓泡速度加快，并控制在 15 min 内送气完毕。

54.4.7.3 送气完毕后，立即旋紧螺旋夹 1，3，4。记录送气结束时间和闪烁室编号。从扩散器封闭到送气结束的时间间隔即为氦的积累时间。

#### 54.4.8 测量

送气结束后，放置 54 min，然后开始计数，应连续计数 5 次，根据  $^{226}\text{Ra}$  的放射性活度确定每次计数的持续时间，单次测量值(计数率) $N_i$ 应符合  $N_i \leq \bar{N} \pm 2/\sqrt{N}$ ，否则将其视为离群值舍去。将舍去离群值后的各值取平均值。



- A—闪烁室；  
B—氯化钙干燥管；  
C—装有试样的扩散器；  
1, 2, 3, 4—螺旋夹。

图 9 进气系统连接图

#### 54.5 分析结果的表述

试样中  $^{226}\text{Ra}$  的放射性活度浓度按式 (126) 计算：

$$C_A = \left[ \frac{K(\bar{N} - N_0)}{R(1 - e^{-\lambda t})} - A_b \right] / V \quad \dots\dots\dots(126)$$

式中：

$C_A$ ——水样中  $^{226}\text{Ra}$  的放射性活度浓度，单位为贝克每升(Bq/L)；

$K$ ——闪烁室的校正因子，Bq/(计数  $s^{-1}$ )；

$\bar{N}$ ——试样的平均计数率，计数  $s^{-1}$ ；

$N_0$ ——闪烁室平均本底计数率，计数  $s^{-1}$ ；

$R$ —— $^{226}\text{Ra}$  的回收率；

$A_b$ ——试剂空白的放射性活度，单位为贝克 (Bq)；

$V$ ——水样的体积，L；

- $1-e^{-\lambda t}$ ——氡的积累函数；  
 $\lambda$ ——氡的衰变常量， $0.00755 \text{ h}^{-1}$ ；  
 $t$ ——氡的积累时间，单位为小时（h）；  
 $e$ ——自然对数的底。

#### 54.6 精密度

在重复性条件下，获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 54.7 其他

本方法定量限为为  $3 \times 10^{-3} \text{ Bq/L}$ 。

### 55 大肠菌群

#### 55.1 多管发酵法

##### 55.1.1 方法提要

大肠菌群是一群能发酵乳糖并产酸产气，需氧或兼性厌氧的革兰氏阴性无芽孢杆菌。将不同量的水样接种到含乳糖的培养基中， $36 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  培养  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$  后，根据阳性反应管数可推算出原水样中大肠菌群的最可能数（most probable number, MPN）。

##### 55.1.2 设备和材料

除微生物实验室常规灭菌及培养设备外，其他设备和材料如下：

- 55.1.2.1 无菌试管：20 mm×150 mm、15 mm×140 mm、35 mm×200 mm 或其它适宜规格。  
 55.1.2.2 无菌小倒管：6 mm×30 mm、13 mm×100 mm 或其它适宜规格。  
 55.1.2.3 无菌吸管：1 mL（具 0.01 mL 刻度）、10 mL（具 0.1 mL 刻度）或移液器及吸头。  
 55.1.2.4 恒温培养箱： $36 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。  
 55.1.2.5 冰箱： $2 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。  
 55.1.2.6 pH 计或 pH 比色管或精密 pH 试纸。  
 55.1.3 培养基和试剂  
 55.1.3.1 乳糖胆盐发酵培养液：见 A.1。  
 55.1.3.2 亮绿乳糖胆盐培养液：见 A.2。  
 55.1.4 检验程序

大肠菌群多管发酵法检验程序见图 10。

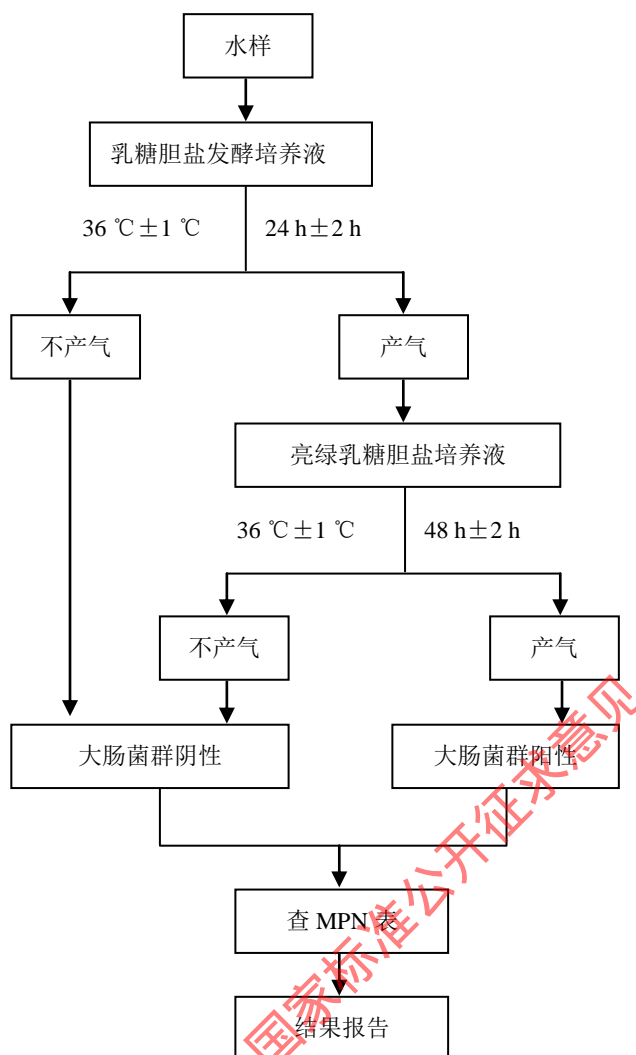


图 10 大肠菌群多管发酵法检验程序

## 55.1.5 操作步骤

## 55.1.5.1 15 管发酵法（第一法）

## 55.1.5.1.1 推测性检验

- 吸取 100 mL 水样接种到 100 mL 双料乳糖胆盐发酵培养液中，共接种 5 份。
- 吸取 10 mL 水样接种到 10 mL 双料乳糖胆盐发酵培养液中，共接种 5 份。
- 吸取 1 mL 水样接种到 10 mL 单料乳糖胆盐发酵培养液中，共接种 5 份。

轻摇试管（避免小倒管中产生气泡），使液体充分混合，置  $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  培养箱内培养  $24\text{ h} \pm 2\text{ h}$ 。观察每管是否产气，如有气体产生则为推测性检验阳性，如不产气则为大肠菌群阴性。

## 55.1.5.1.2 确证性试验

推测性检验阳性管中培养液充分摇匀后，取一接种环培养液，接种到 10 mL 亮绿乳糖胆盐培养液中，置  $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  培养箱中培养  $48\text{ h} \pm 2\text{ h}$ 。

观察亮绿乳糖胆盐培养液中小倒管内的产气情况，如有气体产生，就可确定为大肠菌群阳性；如无气体产生则为大肠菌群阴性。记下产气的阳性试管数，查表 29 可得出水样中大肠菌群的 MPN 值。

## 55.1.5.1.3 MPN 值的计算

如水样含菌量较多，也可接种 10 mL，1 mL，0.1 mL，其实际 MPN 值应为表中的 MPN 值乘以 10，以此类推。

## 55.1.5.1.4 列举说明。

假设推测性检验 15 支试管中的阳性管数如下：

在接种量为 100 mL 的管中有 5 支管阳性；

在接种量为 10 mL 的管中有 4 支管阳性；

在接种量为 1 mL 的管中有 2 支管阳性；

作为推测性检验结果为 5-4-2。当把以上阳性管转种到亮绿乳糖胆盐培养液管里，经培养后，若确证性检验所给的结果如为 5-3-1，那么查表 29，可得出每 100 mL 水样中大肠菌群的 MPN 值为 11。如接种量为 10 mL，1 mL，0.1 mL 时，可得出每 100 mL 水样中大肠菌群的 MPN 值为 110。

表 29 大肠菌群（MPN）检索表

（总接种量 555 mL，其中 5 份 100 mL 水样，5 份 10 mL 水样，5 份 1 mL 水样）

接种量 (mL)			MPN/100 mL	接种量 (mL)			MPN/100 mL
100	10	1		100	10	1	
0	0	0	<0.2	0	4	3	1.3
0	0	1	0.2	0	4	4	1.5
0	0	2	0.4	0	4	5	1.7
0	0	3	0.5	0	5	0	0.9
0	0	4	0.7	0	5	1	1.1
0	0	5	0.9	0	5	2	1.3
0	1	0	0.2	0	5	3	1.5
0	1	1	0.4	0	5	4	1.7
0	1	2	0.6	0	5	5	1.9
0	1	3	0.7	1	0	0	0.2
0	1	4	0.9	1	0	1	0.4
0	1	5	1.1	1	0	2	0.6
0	2	0	0.4	1	0	3	0.8
0	2	1	0.6	1	0	4	1.0
0	2	2	0.7	1	0	5	1.2
0	2	3	0.9	1	1	0	0.4
0	2	4	1.1	1	1	1	0.6
0	2	5	1.3	1	1	2	0.8
0	3	0	0.6	1	1	3	1.0
0	3	1	0.7	1	1	4	1.2
0	3	2	0.9	1	1	5	1.4
0	3	3	1.1	1	2	0	0.6
0	3	4	1.3	1	2	1	0.8
0	3	5	1.5	1	2	2	1.0
0	4	0	0.8	1	2	3	1.2
0	4	1	0.9	1	2	4	1.5
0	4	2	1.1	1	2	5	1.7

表 29 (续)

接种量 (mL)			MPN/100 mL	接种量 (mL)			MPN/100 mL
100	10	1		100	10	1	
1	3	0	0.8	2	3	3	2.0
1	3	1	1.0	2	3	4	2.2
1	3	2	1.2	2	3	5	2.5
1	3	3	1.5	2	4	0	1.5
1	3	4	1.7	2	4	1	1.7
1	3	5	1.9	2	4	2	2.0
1	4	0	1.1	2	4	3	2.3
1	4	1	1.3	2	4	4	2.5
1	4	2	1.5	2	4	5	2.8
1	4	3	1.7	2	5	0	1.7
1	4	4	1.9	2	5	1	2.0
1	4	5	2.2	2	5	2	2.3
1	5	0	1.3	2	5	3	2.6
1	5	1	1.5	2	5	4	2.9
1	5	2	1.7	2	5	5	3.2
1	5	3	1.9	3	0	0	0.8
1	5	4	2.2	3	0	1	1.1
1	5	5	2.4	3	0	2	1.3
2	0	0	0.5	3	0	3	1.6
2	0	1	0.7	3	0	4	2.0
2	0	2	0.9	3	0	5	2.3
2	0	3	1.2	3	1	0	1.1
2	0	4	1.4	3	1	1	1.4
2	0	5	1.6	3	1	2	1.7
2	1	0	0.7	3	1	3	2.0
2	1	1	0.9	3	1	4	2.3
2	1	2	1.2	3	1	5	2.7
2	1	3	1.4	3	2	0	1.4
2	1	4	1.7	3	2	1	1.7
2	1	5	1.9	3	2	2	2.0
2	2	0	0.9	3	2	3	2.4
2	2	1	1.2	3	2	4	2.7
2	2	2	1.4	3	2	5	3.1
2	2	3	1.7	3	3	0	1.7
2	2	4	1.9	3	3	1	2.1
2	2	5	2.2	3	3	2	2.4
2	3	0	1.2	3	3	3	2.8
2	3	1	1.4	3	3	4	3.2
2	3	2	1.7	3	3	5	3.6

表 29 (续)

接种量 (mL)			MPN/100 mL	接种量 (mL)			MPN/100 mL
100	10	1		100	10	1	
3	4	0	2.1	4	4	3	5.4
3	4	1	2.4	4	4	4	6.2
3	4	2	2.8	4	4	5	6.9
3	4	3	3.2	4	5	0	4.1
3	4	4	3.6	4	5	1	4.8
3	4	5	4.0	4	5	2	5.6
3	5	0	2.5	4	5	3	6.4
3	5	1	2.9	4	5	4	7.2
3	5	2	3.2	4	5	5	8.1
3	5	3	3.7	5	0	0	2.3
3	5	4	4.1	5	0	1	3.1
3	5	5	4.5	5	0	2	4.3
4	0	0	1.3	5	0	3	5.8
4	0	1	1.7	5	0	4	7.6
4	0	2	2.1	5	0	5	9.5
4	0	3	2.5	5	1	0	3.3
4	0	4	3.0	5	1	1	4.6
4	0	5	3.6	5	1	2	6.3
4	1	0	1.7	5	1	3	8.4
4	1	1	2.1	5	1	4	11
4	1	2	2.6	5	1	5	13
4	1	3	3.1	5	2	0	4.9
4	1	5	4.2	5	2	1	7.0
4	2	0	2.2	5	2	2	9.4
4	2	1	2.6	5	2	3	12
4	2	2	3.2	5	2	4	15
4	1	4	3.6	5	2	5	18
4	2	3	3.8	5	3	0	7.9
4	2	4	4.4	5	3	1	11
4	2	5	5.0	5	3	2	14
4	3	0	2.7	5	3	3	18
4	3	1	3.3	5	3	4	21
4	3	2	3.9	5	3	5	25
4	3	3	4.5	5	4	0	13
4	3	4	5.6	5	4	1	17
4	3	5	5.9	5	4	2	22
4	4	0	3.4	5	4	3	28
4	4	1	4.0	5	4	4	35
4	4	2	4.7	5	4	5	43

表 29 (续)

接种量 (mL)			MPN/100 mL	接种量 (mL)			MPN/100 mL
100	10	1		100	10	1	
5	5	0	24	5	5	3	92
5	5	1	35	5	5	4	160
5	5	2	54	5	5	5	>160

## 55.1.5.2.6 管发酵法 (第二法)

## 55.1.5.2.1 推测性检验

- 吸取 50 mL 水样接种到 50 mL 双料乳糖胆盐发酵培养液中, 共接种 1 份。
- 吸取 10 mL 水样接种到 10 mL 双料乳糖胆盐发酵培养液中, 共接种 5 份。
- 置  $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  培养箱中培养  $24\text{ h} \pm 2\text{ h}$ , 观察每支管的产气情况, 如有气体产生, 则认为推测性检验阳性。

## 55.1.5.2.2 确证性试验

操作步骤同矿泉水水源水检验。

## 55.1.5.2.3 MPN 值的计算

当经过确证性试验后, 1 管 50 mL 水样和 5 管 10 mL 水样结果中, 阳性反应的管数对应的 MPN 值及其 95% 的可信限范围见表 30。

表 30 6 管水样各种阳性和阴性结果组合的 MPN 值及其 95% 的可信限

阳性反应管数		MPN/100 mL	95% 可信限	
1×50 mL	5×10 mL		下限	上限
0	0	≤1	-	-
0	1	1	0.5	4
0	2	2	0.5	6
0	3	4	0.5	11
0	4	5	1	13
0	5	7	2	17
1	0	2	0.5	6
1	1	3	0.5	9
1	2	6	1	15
1	3	9	2	21
1	4	16	4	40
1	5	>18	-	-

## 55.1.6 结果与报告

根据确证性试验验证的乳糖胆盐发酵管反应阳性管数, 检索方法对应的 MPN 表 (表 29 或表 30), 报告每 100 mL 样品中大肠菌群的 MPN 值, 以 MPN/100 mL 表示。当所有接种水样的乳糖胆盐发酵管均为阴性反应, 可以按未检出报告。

## 55.2 滤膜法

## 55.2.1 方法提要

采用孔径为  $0.45\text{ }\mu\text{m}$  亲水性微孔滤膜, 将水中所含的细菌截留在滤膜上, 然后将滤膜贴在选择性计数培养基上, 经  $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  培养  $24\text{ h} \pm 2\text{ h}$  后, 大肠菌群细菌在滤膜上长出具有特征性的菌落, 直接计数可疑菌落数, 经试验确证后, 计算出每 100 mL 水样中所含的大肠菌群数。

## 55.2.2 设备和材料

除微生物实验室常规灭菌及培养设备外，其他设备和材料如下：

55.2.2.1 无菌滤器。

55.2.2.2 无菌亲水性微孔滤膜：直径47 mm，孔径为0.45  $\mu\text{m}$ 。

55.2.2.3 过滤设备。

55.2.2.4 无菌无齿镊子。

55.2.2.5 恒温培养箱： $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

55.2.2.6 显微镜： $10\times \sim 100\times$ 。

55.2.2.7 冰箱： $2\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

55.2.2.8 无菌平皿：直径90 mm。

55.2.2.9 pH 计或 pH 比色管或精密 pH 试纸。

## 55.2.3 培养基和试剂

55.2.3.1 无菌生理盐水：见 A.3。

55.2.3.2 无菌磷酸盐缓冲液：见 A.4。

55.2.3.3 远藤琼脂（品红亚硫酸钠）培养基：见 A.5。

55.2.3.4 营养琼脂培养基：见 A.6。

55.2.3.5 革兰氏染色液：见 A.7。

55.2.3.6 乳糖蛋白胨培养液：见 A.8。

## 55.2.4 检验程序

大肠菌群滤膜法检验程序见图11。

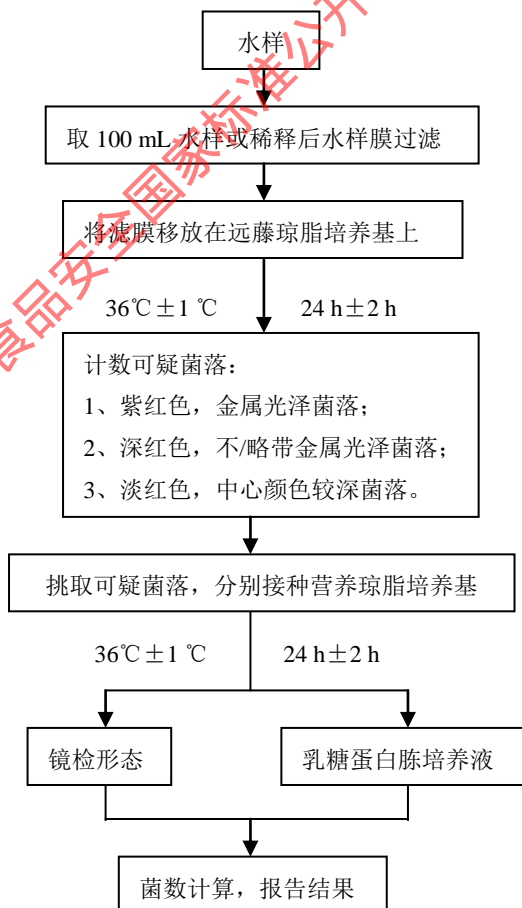


图11 大肠菌群滤膜法检验程序

### 55.2.5 操作步骤

55.2.5.1 用无菌镊子夹取无菌滤膜边缘部分，贴放在已灭菌的泵头上，固定好滤器，将100 mL水样或稀释后的水样（用无菌生理盐水或无菌磷酸盐缓冲液稀释）通过孔径0.45 μm的滤膜过滤。

55.2.5.2 将过滤后的滤膜贴在远藤琼脂培养基平板上，滤膜截留细菌面向上，平铺并避免在滤膜和培养基之间夹留着气泡。然后将平板倒置，36 °C ± 1 °C培养24 h ± 2 h。

55.2.5.3 观察滤膜上面的菌落特征，并计数可疑菌落。大肠菌群典型菌落在远藤琼脂培养基上具有以下特征：

- a) 紫红色，具有金属光泽；
- b) 深红色，不带或略带金属光泽；
- c) 淡红色，中心颜色较深。

55.2.5.4 按比例挑取10个不同形态的可疑菌落（不足10个则全挑），分别接种到营养琼脂培养基平板上，36 °C ± 1 °C培养24 h ± 2 h。

55.2.5.5 从营养琼脂培养基平板上挑取单菌落进行革兰氏染色镜检观察；同时接种乳糖蛋白胨培养液，经36 °C ± 1 °C培养24 h ± 2 h。可疑菌落为革兰氏阴性无芽孢杆菌，使接种的乳糖蛋白胨培养液变黄并产气，则判定为大肠菌群阳性。

### 55.2.6 结果与报告

大肠菌群菌落数按式（127）计算，报告每 100 mL 水样中的大肠菌群菌数，以 CFU/100 mL 表示；当  $d$  值为 1，且  $T$  值为 0 时，可以按未检出报告。

$$T = \frac{AB}{Cd} \dots \dots \dots (127)$$

式中：

- $T$  —— 每 100 mL 水样中大肠菌群的菌落数；  
 $A$  —— 某一稀释度可疑菌落的总数；  
 $B$  —— 某一稀释度确证为阳性的菌落数；  
 $C$  —— 某一稀释度用于确证性试验的菌落数；  
 $d$  —— 稀释因子。

## 56 粪链球菌

### 56.1 方法提要

将250 mL水样用孔径为0.45 μm的亲水性微孔滤膜过滤，并将滤膜移至KF链球菌琼脂培养基上，于36 °C ± 1 °C培养48 h ± 2 h。如有红色或粉红色菌落生长，需将菌落接种于脑-心浸液琼脂培养基上做进一步的确证试验。如可疑菌落为革兰氏阳性球菌，过氧化氢酶反应为阴性，在脑-心浸液液态培养基中45 °C培养48h ± 2 h，在胆汁液态培养基中36 °C ± 1 °C培养3 d，均能够生长，则证实粪链球菌的存在，报告每250 mL水样中的粪链球菌数。

### 56.2 设备和材料

除微生物实验室常规灭菌及培养设备外，其他设备和材料如下：

56.2.1 无菌滤器。

56.2.2 无菌亲水性微孔滤膜：直径 47 mm，孔径为 0.45 μm。

56.2.3 过滤设备。

56.2.4 无菌无齿镊子。

56.2.5 无菌吸管：1 mL（具 0.01 mL 刻度）、10 mL（具 0.1 mL 刻度）或移液器及吸头。

56.2.6 恒温培养箱： $36\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $45\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

56.2.7 显微镜： $10\times\sim 100\times$ 。

56.2.8 冰箱： $2\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

56.2.9 无菌平皿：直径90 mm。

56.2.10 pH 计或 pH 比色管或精密 pH 试纸。

### 56.3 培养基和试剂

56.3.1 无菌生理盐水：见 A.3。

56.3.2 无菌磷酸盐缓冲液：见 A.4。

56.3.3 KF 链球菌琼脂培养基：见 A.9。

56.3.4 革兰氏染色液：见 A.7。

56.3.5 脑心浸液琼脂培养基：见 A.10。

56.3.6 3%过氧化氢溶液：见 A.11。

56.3.7 脑心浸液液态培养基：见 A.12。

56.3.8 胆汁液态培养基：见 A.13。

### 56.4 检验程序

粪链球菌检验程序见图 12。

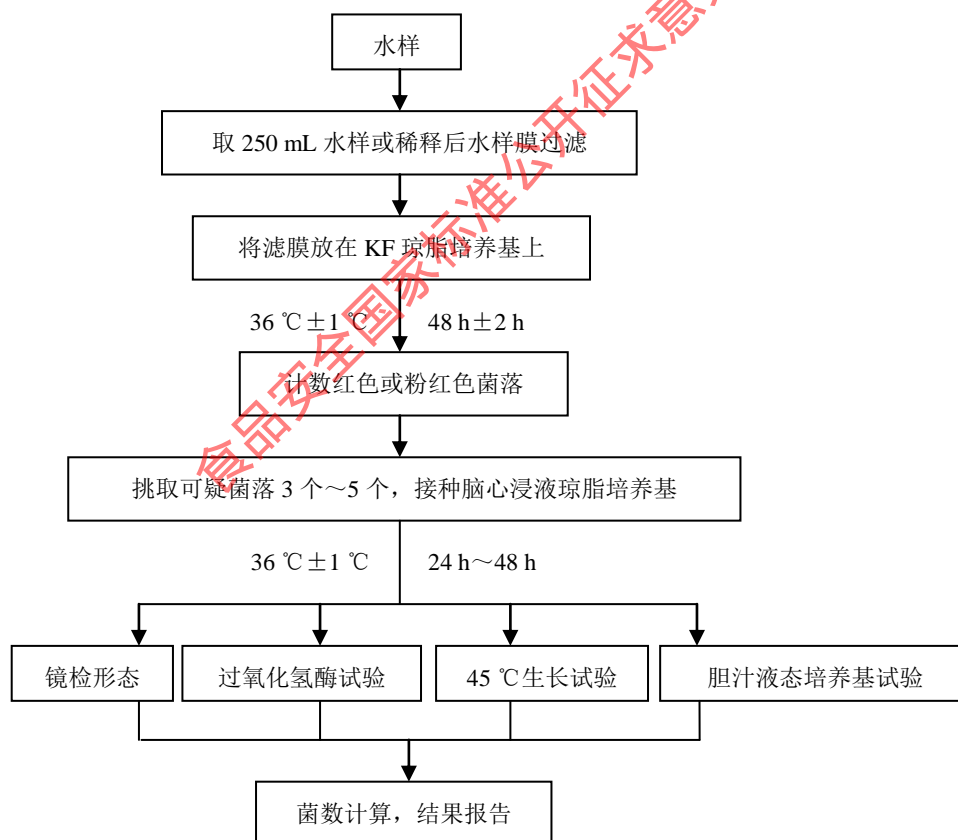


图 12 粪链球菌检验程序

### 56.5 操作步骤

#### 56.5.1 推测性检验

##### 56.5.1.1 水样过滤

用无菌镊子夹取无菌滤膜边缘部分，贴放在已灭菌的泵头上，固定好滤器，将250 mL水样或稀释后的水样（用无菌生理盐水或无菌磷酸盐缓冲液稀释）通过孔径0.45 μm的滤膜过滤。

#### 56.5.1.2 培养

将过滤后的滤膜贴在KF链球菌琼脂培养基平板上，滤膜截留细菌面向上，平铺并避免在滤膜和培养基之间夹留着气泡。将平板倒置，36℃±1℃培养48h±2h。

#### 56.5.1.3 计数

计数可疑菌落，粪链球菌典型菌落在滤膜上呈现大小不等的红色或粉红色。

### 56.5.2 确证性试验

56.5.2.1 从滤膜上按比例挑取10个不同形态的可疑菌落（不足10个则全挑），接种到脑心浸液琼脂培养基平板上，36℃±1℃培养24h~48h。

56.5.2.2 用接种环从脑心浸液琼脂培养基平板上挑取培养物进行革兰氏染色，镜检观察。

56.5.2.3 用接种环从脑心浸液琼脂培养基平板上挑取培养物到一片清洁的载玻片上，滴加2滴~3滴新鲜配制的3%过氧化氢到载玻片的涂抹菌处，如果30s内有气泡发生，则过氧化氢酶反应为阳性，则该菌不属于粪链球菌，确证试验到此即可停止；如果30s内没有气泡发生，则显示过氧化氢酶反应为阴性，则该菌可视为粪链球菌可疑菌，需继续如下的确证过程。

56.5.2.4 用接种环从脑心浸液琼脂培养基平板上挑取单菌落到脑心浸液液态培养基内，在45℃±1℃培养48h±2h。同时挑取单菌落到胆汁液态培养基中，在36℃±1℃培养3d。

56.5.2.5 若可疑菌落为革兰氏阳性球菌，过氧化氢酶反应阴性，且分别接种至56.5.2.4中的两种培养基中，培养后使两种培养基均变浑浊，则确证为粪链球菌。

### 56.6 结果与报告

粪链球菌菌落数按式（128）计算，报告每250 mL水样中的粪链球菌菌数，以CFU/250 mL表示；当d值为1，且T值为0时，可以按未检出报告。

$$T = \frac{AB}{Cd} \dots \dots \dots (128)$$

式中：

T —— 每250 mL水中粪链球菌的菌落数；

A —— 某一稀释度可疑菌落的总数；

B —— 某一稀释度确证为阳性的菌落数；

C —— 某一稀释度用于确证性试验的菌落数；

d —— 稀释因子。

### 56.7 质量控制

实验室应根据需要设置阳性对照、阴性对照和空白对照，定期对检验过程进行质量控制。检验过程中应以粪肠球菌（*Enterococcus faecalis*）标准菌株作为阳性对照菌株，以大肠埃希氏菌（*Escherichia coli*）标准菌株作为阴性对照菌株。

## 57 铜绿假单胞菌

### 57.1 方法提要

将250 mL水样用孔径为0.45 μm的亲水性微孔滤膜过滤，并将滤膜移至CN琼脂培养基上，36℃±1℃培养20h~48h。菌落在CN琼脂上产绿脓菌素并呈蓝色或绿色；菌落在CN琼脂上呈非蓝色或非绿色，但发荧光，并能够利用乙酰胺产氨，42℃生长；菌落在CN琼脂上呈红褐色不发荧光，但在金氏B培养基上生长发荧光，氧化酶反应阳性，能够利用乙酰胺产氨。符合上述三类现象之一均可确证为铜绿假单胞菌。

报告每250 mL水样中铜绿假单胞菌数。

## 57.2 仪器和设备

除微生物实验室常规灭菌及培养设备外，其他设备和材料如下：

- 57.2.1 无菌滤器。
- 57.2.2 无菌亲水性微孔滤膜：直径 47 mm，孔径为 0.45  $\mu\text{m}$ 。
- 57.2.3 过滤设备。
- 57.2.4 无菌无齿镊子。
- 57.2.5 无菌吸管：1 mL（具 0.01 mL 刻度）、10 mL（具 0.1 mL 刻度）或移液器及吸头。
- 57.2.6 恒温培养箱：36  $^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，42  $^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- 57.2.7 紫外灯：波长应为 360 nm  $\pm$  20 nm。
- 57.2.8 冰箱：2  $^{\circ}\text{C} \sim 8^{\circ}\text{C}$ 。
- 57.2.9 无菌平皿：直径90 mm。
- 57.2.10 pH 计或 pH 比色管或精密 pH 试纸。

## 57.3 培养基和试剂

- 57.3.1 无菌生理盐水：见 A.3。
- 57.3.2 无菌磷酸盐缓冲液：见 A.4。
- 57.3.3 CN 琼脂：见 A.14。
- 57.3.4 营养琼脂：见 A.6。
- 57.3.5 绿脓菌素测定用培养基：见 A.15。
- 57.3.6 1 mol/L 盐酸：见 A.16。
- 57.3.7 三氯甲烷（ $\text{CHCl}_3$ ，分析纯）。
- 57.3.8 乙酰胺液体培养基：见 A.17。
- 57.3.9 钠氏试剂：见 A.18。
- 57.3.10 氧化酶试剂：见 A.19。
- 57.3.11 金氏 B（King's B）培养基：见 A.20。

## 57.4 检验程序

铜绿假单胞菌检验程序见图13。

食品安全国家标准公开征求意见

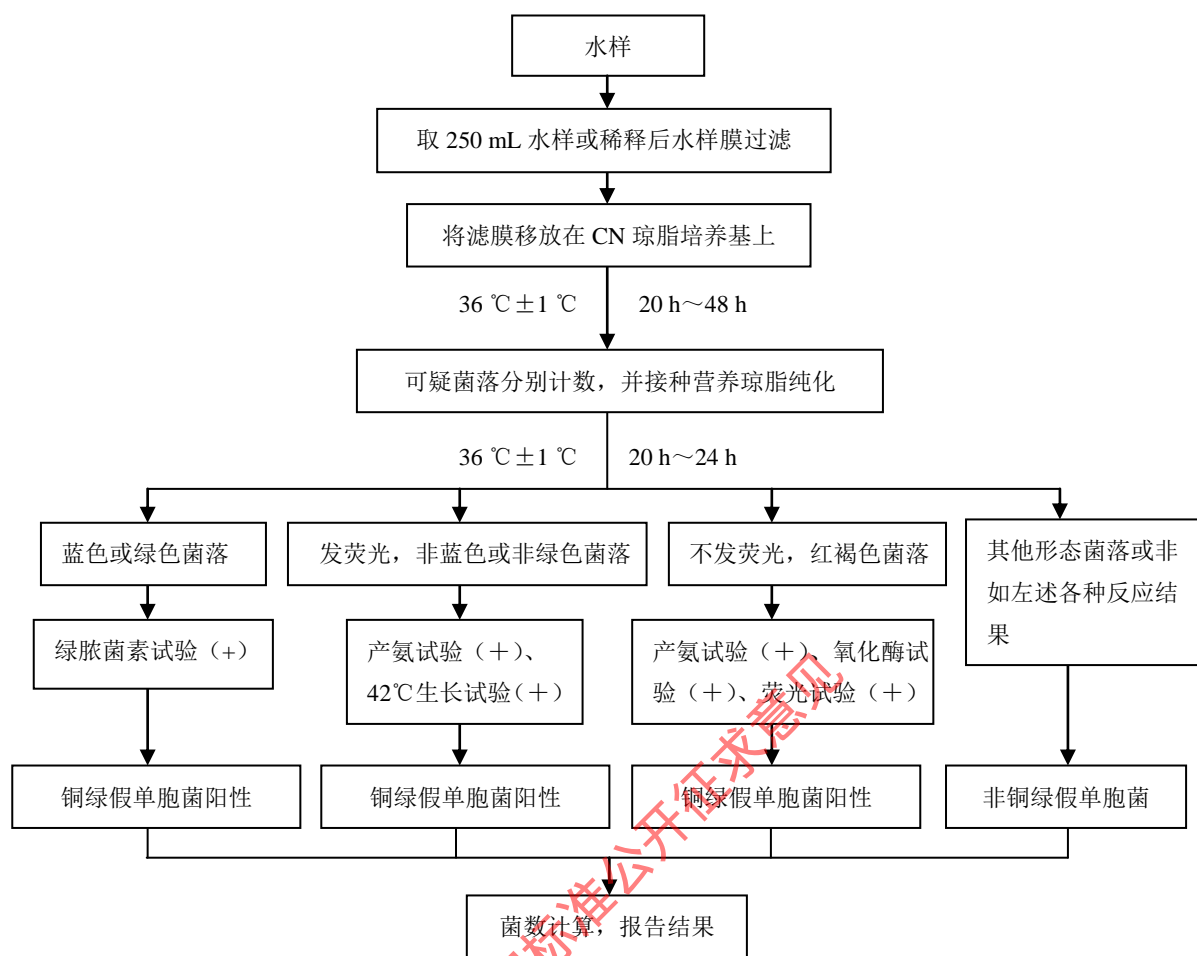


图 13 铜绿假单胞菌检验程序

## 57.5 操作步骤

### 57.5.1 水样过滤

用无菌镊子夹取无菌滤膜边缘部分，贴放在已灭菌的泵头上，固定好滤器，将250 mL水样或稀释后的水样（用无菌生理盐水或无菌磷酸盐缓冲液稀释）通过孔径0.45 μm的滤膜过滤。

### 57.5.2 培养

将过滤后的滤膜贴在CN琼脂平板上，滤膜截留细菌面向上，平铺并避免在滤膜和培养基之间夹留着气泡。将平板倒置，于36 °C ± 1 °C培养20 h ~ 48 h，并防止干燥。

### 57.5.3 结果观察与计数

在培养 20 h ~ 24 h 和 40 h ~ 48 h 后观察滤膜上菌落的生长情况并计数。若培养 40 h ~ 48 h 导致菌落过分生长而出现菌落融合，造成无法计数时，应参考培养 20 h ~ 24 h 时的菌落计数结果。

计数滤膜上所有显蓝色和绿色的菌落，并进行绿脓菌素试验确证。

计数滤膜上所有在紫外灯照射下发荧光（应避免滤膜上菌落长时间在紫外灯下照射，否则可能将菌杀灭，导致无法进行确证性试验）、非蓝色或非绿色菌落，并进行产氨试验、42 °C 生长试验确证。

计数滤膜上所有红褐色不发荧光的菌落，并进行氧化酶试验、产氨试验和金氏 B 培养基产荧光试验确证。

在 CN 琼脂上生长的菌落选择和确证步骤见表 31。

表 31 在 CN 琼脂上生长的菌落选择和确证步骤

CN 琼脂上生长的菌落形态	绿脓菌素试验	产氨试验	42℃生长试验	氧化酶试验	金氏 B 培养基产荧光试验	判定为铜绿假单胞菌
蓝色或绿色	+	NT <sup>a</sup>	NT	NT	NT	是
发荧光, 非蓝色或非绿色	NT	+	+	NT	NT	是
不发荧光, 红褐色	NT	+	NT	+	+	是
不发荧光, 其它颜色	NT	NT	NT	NT	NT	否

<sup>a</sup>备注: NT 表示不用试验。

#### 57.5.4 确证性试验

##### 57.5.4.1 营养琼脂纯化

按比例挑取10个不同形态的可疑菌落（不足10个则全挑），划线接种于营养琼脂培养基纯化，于36℃±1℃培养20h~24h。

##### 57.5.4.2 绿脓菌素试验

将57.5.4.1中在CN琼脂上呈蓝色或绿色菌落的纯培养物分别接种在绿脓菌素测定培养基上，置36℃±1℃培养24h±2h，加入三氯甲烷3mL~5mL，可捣碎培养基并充分振荡使培养物中的绿脓菌素溶解于三氯甲烷，待三氯甲烷提取液呈蓝色时，用吸管将三氯甲烷移到另一试管中，并加入1mol/L的盐酸1mL，振荡后，静置片刻。如上层盐酸液内出现粉红色到紫红色时为阳性，表示被检物中有绿脓菌素存在。

##### 57.5.4.3 产氨试验

将57.5.4.1中在CN琼脂上发荧光，非蓝色或非绿色菌落的纯培养物接种到乙酰胺液体培养基中，在36℃±1℃下培养20h~24h。然后向每支试管培养物加入1滴~2滴钠氏试剂后，10s内检查各试管的颜色变化，如表现出从黄色到砖红色的颜色变化，则为阳性结果，否则为阴性。

##### 57.5.4.4 42℃生长试验

将57.5.4.1中在CN琼脂上发荧光，非蓝色或非绿色菌落的纯培养物接种营养琼脂平板上，42℃±1℃培养24h~48h，能生长的为阳性结果，否则为阴性。

##### 57.5.4.5 氧化酶试验

取2滴~3滴新鲜配制的氧化酶试剂滴到放于平皿里的洁净滤纸上。用接种环或玻璃棒，将适量的57.5.4.1中在CN琼脂上不发荧光，红褐色菌落的纯培养物涂布在预备好的滤纸上。在10s内显深蓝紫色的视为阳性反应。也可以按照商品化氧化酶测试产品的说明书进行该项测试。

##### 57.5.4.6 金氏 B (King's B) 培养基产荧光试验

将上述呈在CN琼脂上不发荧光，红褐色的且氧化酶反应呈阳性的培养物接种于金氏B培养基上，于36℃±1℃恒温箱培养1d~5d。每天需取出在紫外灯下检查其是否产生荧光，将5d内产生荧光的菌落记录为阳性。

#### 57.6 结果与报告

铜绿假单胞菌菌落数按式(129)进行计算，报告每250mL水样中的铜绿假单胞菌数，以CFU/250mL表示；当d值为1，且N值为0时，可以按未检出报告。

$$N = \frac{Pc_P}{n_P d} + \frac{Fc_F}{n_F d} + \frac{Rc_R}{n_R d} \dots \dots \dots (129)$$

式中：

- $N$  —— 每 250 mL 水样中铜绿假单胞菌的菌落数；  
 $P$  —— 蓝色和绿色的菌落数；  
 $c_P$  —— 绿脓菌素试验阳性的菌落数；  
 $n_P$  —— 进行绿脓菌素试验的蓝色和绿色菌落数；  
 $F$  —— 发荧光，非蓝色或非绿色的菌落数；  
 $c_F$  —— 产氨阳性和 42 °C 生长的菌落数；  
 $n_F$  —— 进行产氨和 42 °C 生长试验的发荧光，非蓝色或非绿色的菌落数；  
 $R$  —— 不发荧光，红褐色的菌落数；  
 $c_R$  —— 产氨、氧化酶、金氏 B 培养基上产荧光试验均呈阳性的菌落数；  
 $n_R$  —— 进行产氨、氧化酶、金氏 B 培养基上产荧光试验的不发荧光，红褐色菌落数；  
 $d$  —— 稀释因子。

### 57.7 质量控制

实验室应根据需要设置阳性对照、阴性对照和空白对照，定期对检验过程进行质量控制。检验过程中应以铜绿假单胞菌（*Pseudomonas aeruginosa*）标准菌株作为阳性对照菌株，以恶臭假单胞菌（*Pseudomonas putida*）标准菌株作为阴性对照菌株。

## 58 产气荚膜梭菌

### 58.1 方法提要

取 50 mL 的水样用孔径为 0.45 μm 的亲水性微孔滤膜过滤，然后将滤膜移至 TSC 琼脂培养基上，膜上再覆盖一层 TSC 琼脂，倒置于 36 °C ± 1 °C 厌氧培养 24 h ± 2 h，计数黑色菌落，任意挑取 3 个 ~ 5 个在滤膜上生长的黑色菌落，分别接种 FT 培养基，于 36 °C ± 1 °C 培养 24 h ± 2 h 后，将培养物做确证试验，根据试验结果确证产气荚膜梭菌的存在，报告每 50 mL 水样中产气荚膜梭菌数。

### 58.2 仪器和设备

除微生物实验室常规灭菌及培养设备外，其他设备和材料如下：

- 58.2.1 无菌滤器。  
 58.2.2 无菌亲水性微孔滤膜：直径 47 mm，孔径为 0.45 μm。  
 58.2.3 过滤设备。  
 58.2.4 无菌无齿镊子。  
 58.2.5 无菌吸管：1 mL（具 0.01 mL 刻度）、10 mL（具 0.1 mL 刻度）或移液器及吸头。  
 58.2.6 恒温培养箱：36 °C ± 1 °C。  
 58.2.7 厌氧培养装置。  
 58.2.8 恒温水浴锅：46 °C ± 0.5 °C、50 °C ± 1 °C。  
 58.2.9 显微镜：10× ~ 100×。  
 58.2.10 冰箱：2 °C ~ 8 °C。  
 58.2.11 无菌平皿：直径 90 mm。  
 58.2.12 pH 计或 pH 比色管或精密 pH 试纸。

### 58.3 培养基和试剂

- 58.3.1 0.1% 蛋白胨水：见 A.21。  
 58.3.2 胰胨-亚硫酸盐-环丝氨酸（tryptose-sulfite-cycloserine, TSC）琼脂：见 A.22。  
 58.3.3 液体硫乙醇酸盐（fluid thioglycollate, FT）培养基：见 A.23。

- 58.3.4 革兰氏染色液：见 A.7。  
 58.3.6 缓冲动力-硝酸盐培养基：见 A.25。  
 58.3.7 硝酸盐还原试剂：见 A.26。  
 58.3.5 含铁牛奶培养基：见 A.24。  
 58.3.8 乳糖-明胶培养基：见 A.27。

#### 58.4 检验程序

产气荚膜梭菌检验程序见图14

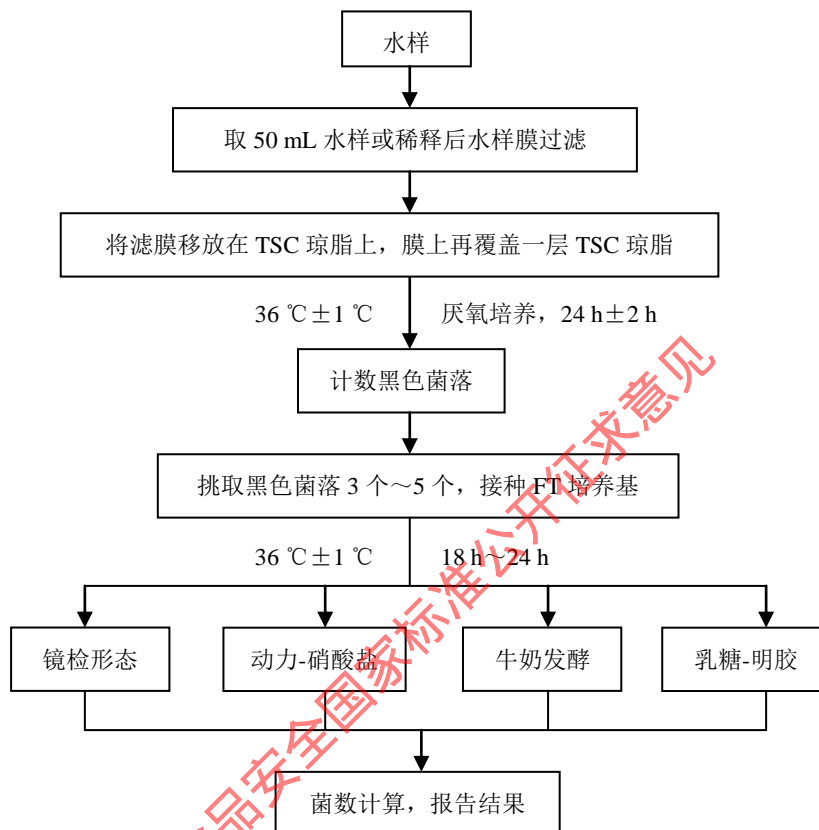


图 14 产气荚膜梭菌检验程序

#### 58.5 操作步骤

##### 58.5.1 水样过滤

用无菌镊子夹取无菌滤膜边缘部分，贴放在已灭菌的泵头上，固定好滤器，将 50 mL 水样或稀释后的水样（用 0.1% 蛋白胨水稀释）通过孔径 0.45 μm 的滤膜过滤。

##### 58.5.2 培养与计数

将过滤后的滤膜贴在 TSC 琼脂培养基平板上，滤膜截留细菌面向上，平铺并避免在滤膜和培养基之间夹留着气泡。倾注 5 mL~10 mL 冷却至 50 °C 的 TSC 琼脂均匀覆盖滤膜表面，倒置于厌氧培养装置内，于 36 °C ± 1 °C 厌氧培养 24 h ± 2 h。计数平板上的黑色菌落数。

##### 58.5.3 确证性试验

58.5.3.1 按比例挑取 10 个不同形态的可疑菌落（不足 10 个则全挑），分别接种 FT 培养基，于 36 °C ± 1 °C 培养 18 h~24 h。

58.5.3.2 用上述培养液涂片，革兰氏染色镜检。产气荚膜梭菌为革兰氏阳性粗大杆菌，其耐热菌株可能形成卵形芽孢，位于菌体中央或近端，其宽度一般不大于菌体。如果培养液不纯，应划线接种 TSC 琼脂平

板进行分纯，36℃±1℃厌氧培养24h±2h。挑取单个典型黑色菌落接种到FT培养基，36℃±1℃培养18h~24h，用于后续的确证试验。

58.5.3.3 用接种针穿刺接种缓冲动力-硝酸盐培养基，于36℃±1℃厌氧培养24h±2h，观察穿刺线的生长情况，判断有无动力。有动力的菌株沿穿刺线呈扩散生长，无动力的菌株只沿穿刺线生长。然后，滴加硝酸盐还原试剂甲液0.5mL和硝酸盐还原试剂乙液0.2mL，观察硝酸盐是否被还原。15min内出现红色者，表明硝酸盐被还原为亚硝酸盐；如果不出现颜色变化，则加少许锌粉，放置10min，出现红色者，表明该菌株不能还原硝酸盐。产气荚膜梭菌无动力，能将硝酸盐还原为亚硝酸盐。

58.5.3.4 取生长旺盛的FT培养液1mL接种于含铁牛乳培养基，在46℃±0.5℃水浴中培养2h后观察有无“暴烈发酵”现象发生，在5h内不发酵者为阴性。该现象的特点是乳凝结物破碎后快速形成海绵样物质，通常会上升到培养基表面，但培养基不变黑。产气荚膜梭菌能发酵乳糖，凝固酪蛋白并大量产气，呈“暴烈发酵”现象。

58.5.3.5 用接种环（针）取FT培养液穿刺或用无菌吸管移取0.2mL FT培养液接种乳糖-明胶培养基，于36℃±1℃厌氧培养24h±2h，观察结果。如发现产气和培养基由红变黄，表明乳糖被发酵并产酸。将试管于5℃±1℃放置1h，检查明胶液化情况。如果培养基是固态，于36℃±1℃再厌氧培养24h±2h，重复检查明胶是否液化。产气荚膜梭菌能发酵乳糖，使明胶液化。

## 58.6 结果与报告

产气荚膜梭菌菌落数按式(130)进行计算，报告每50mL水样中的产气荚膜梭菌菌数，以CFU/50mL表示；当*d*值为1，且*T*值为0时，可以按未检出报告。

$$T = \frac{AB}{Cd} \dots \dots \dots (130)$$

式中：

*T* —— 每50mL水中产气荚膜梭菌的菌落数；

*A* —— 某一稀释度可疑菌落的总数；

*B* —— 某一稀释度确证为阳性的菌落数；

*C* —— 某一稀释度用于确证性试验的菌落数；

*d* —— 稀释因子。

## 58.7 质量控制

实验室应根据需要设置阳性对照、阴性对照和空白对照，定期对检验过程进行质量控制。检验过程中应以产气荚膜梭菌（*Clostridium perfringens*）标准菌株作为阳性对照菌株，以艰难梭菌（*Clostridium difficile*）标准菌株作为阴性对照菌株。

## 附录 A

## 培养基和试剂

## A.1 乳糖胆盐发酵培养液

## A.1.1 成分

	单料	双料
蛋白胨	20.0 g	40.0 g
猪胆盐（或牛、羊胆盐）	5.0 g	10.0 g
乳糖	10.0 g	20.0 g
溴甲酚紫溶液（4 g/L）	2.5 mL	5.0 mL
蒸馏水	1000 mL	1000 mL

## A.1.2 制法

将蛋白胨、胆盐及乳糖加热溶解于蒸馏水中，加入溴甲酚紫溶液，混匀，分装到装有小倒管的试管，每管 50 mL 或 10 mL。以 115 °C 灭菌 20 min。灭菌后，培养基 25 °C 的 pH 值为 7.4±0.2。

## A.2 亮绿乳糖胆盐培养液

## A.2.1 成分

蛋白胨	10.0 g
乳糖	10.0 g
牛胆盐	2.0 g
亮绿	0.0133 g
蒸馏水	1000 mL

## A.2.2 制法

除亮绿外，将其他成分加热溶解于蒸馏水中，加入亮绿，混匀，分装到装有小倒管的试管中，每管 10 mL，115 °C 灭菌 20 min。灭菌后，培养基 25 °C 的 pH 值为 7.2±0.2。

## A.3 无菌生理盐水

## A.3.1 成分

氯化钠	8.5 g
蒸馏水	1000 mL

## A.3.2 制法

称取 8.5 g 氯化钠溶于 1000 mL 蒸馏水中，121 °C 高压灭菌 15 min。

## A.4 磷酸盐缓冲液

## A.4.1 成分

磷酸二氢钾	34.0 g
蒸馏水	500 mL

## A.4.2 制法

贮存液：称取 34.0 g 的磷酸二氢钾溶于 500 mL 蒸馏水中，用大约 175 mL 的 1 mol/L 氢氧化钠溶液调节 pH 至 7.2，用蒸馏水稀释至 1 000 mL 后贮存于 2 °C~8 °C 冰箱。

稀释液：取贮存液 1.25 mL，用蒸馏水稀释至 1000 mL，分装于适宜容器中，121 °C 高压灭菌 15 min。

## A.5 远藤琼脂（品红亚硫酸钠）培养基

## A.5.1 成分

蛋白胨	10.0 g
酵母浸粉	5.0 g
牛肉浸粉	5.0 g
乳糖	10.0 g
琼脂	15 g~20 g
磷酸氢二钾	3.5 g
无水亚硫酸钠	5.0 g
碱性品红乙醇溶液（50 g/L）	20 mL
蒸馏水	1000 mL

#### A. 5.2 制法

储备培养基的制备：将除无水亚硫酸钠和碱性品红外的上述成分加热煮沸至完全溶解于 1000 mL 蒸馏水中，分装，115 °C 高压灭菌 20 min，备用。灭菌后培养基 25 °C 的 pH 值为 7.2±0.2。

平皿培养基的配制：将上法配制的储备培养基加热融化，用灭菌吸管按比例吸取一定量的 50 g/L 碱性品红乙醇溶液置于灭菌空试管中，再按比例称取所需的无水亚硫酸钠置于另一个灭菌试管中，加灭菌水少许，使其溶解后，置沸水浴中煮沸 10 min 以灭菌。

用灭菌吸管吸取已灭菌的亚硫酸钠溶液，滴加于碱性品红乙醇溶液内至深红色褪成粉色为止。将此亚硫酸钠与碱性品红的混合液全部加到已融化的储备培养基内，并充分混匀（防止产生气泡），立即将此种培养基 15 mL~20 mL 倒入已灭菌的空平皿内。待冷却凝固后置冰箱内备用。此种已制成的培养基于 2 °C~8 °C 冰箱内保存不宜超过 2 周。如培养基已由淡粉色变成深红色，则不能再用。

#### A. 6 营养琼脂

##### A. 6.1 成分

蛋白胨	10.0 g
牛肉浸粉	3.0 g
氯化钠	5.0 g
琼脂	15 g~20 g
蒸馏水	1000 mL

##### A. 6.2 制法

煮沸溶解以上各成分，121 °C 灭菌 15 min。灭菌后，培养基 25 °C 的 pH 值为 7.4±0.2。

#### A. 7 革兰氏染色液

##### A. 7.1 结晶紫染色液

###### A. 7.1.1 成分

结晶紫	1.0 g
95%乙醇	20 mL
草酸铵水溶液(10 g/L)	80 mL

###### A.7.1.2 制法

将结晶紫溶于95%乙醇中，然后与草酸铵溶液混合。

**注：**结晶紫不可用龙胆紫代替，前者是纯品，后者不是单一成份，易出现假阳性。结晶紫溶液放置过久会产生沉淀，不能再用。

##### A. 7.2 革兰氏碘液

###### A. 7.2.1 成分

碘片	1.0 g
碘化钾	2.0 g

蒸馏水 300 mL

#### A.7.2.2 制法

将碘和碘化钾先进行混合，加入蒸馏水少许，充分振摇，待完全溶解后，再加入其余的蒸馏水。

#### A.7.3 脱色剂

95%乙醇。

#### A.7.4 沙黄复染液

##### A.7.4.1 成分

沙黄	0.25 g
95%乙醇	10 mL
蒸馏水	90 mL

##### A.7.4.2 制法

将沙黄溶解于95%乙醇中，待完全溶解后加入蒸馏水。

注：如无沙黄，可用苯酚复红染色液（1+10）替代，做为复染液，复染时间为10 s。

#### A.7.5 染色法

将培养物在火焰上固定，滴加结晶紫染色液，染1 min，水洗。滴加革兰氏碘液，作用1 min，水洗。滴加脱色剂，摇动玻片，直至无紫色脱落为止，约30 s，水洗滴加复染剂，复染1 min，水洗，待干，镜检。呈紫色者为革兰氏阳性菌；呈红色者为革兰氏阴性菌。

#### A.8 乳糖蛋白胨培养液

##### A.8.1 成分

蛋白胨	10.0 g
牛肉浸粉	3.0 g
乳糖	5.0 g
氯化钠	5.0 g
溴甲酚紫乙醇溶液（16 g/L）	1.0 mL
蒸馏水	1000 mL

##### A.8.2 制法

将蛋白胨、牛肉浸粉、乳糖及氯化钠加热溶解于蒸馏水中，再加入1 mL 16 g/L 溴甲酚紫乙醇溶液，充分混匀，分装于装有倒管的试管中，115 °C 高压灭菌 20 min，储备冷暗处备用。灭菌后，培养基 25 °C 的 pH 值为 7.2±0.2。

#### A.9 KF 链球菌琼脂培养基

##### A.9.1 成分

胨蛋白胨	10.0 g
麦芽糖	20.0 g
乳糖	1.0 g
酵母浸粉	10.0 g
氯化钠	5.0 g
叠氮化钠	0.4 g
甘油磷酸钠	10.0 g
10 g/L的氯化三苯基四氮唑（TTC）水溶液	10 mL
琼脂	20.0 g
蒸馏水	1000 mL

##### A.9.2 制法

除氯化三苯基四氮唑（TTC）水溶液外，其他成分溶解于蒸馏水中，置于沸水浴内加热，以溶解其中的琼脂，待完全溶解后再加热5 min，然后冷却，温度降到50℃～60℃时，于1000 mL培养基内再加10 mL的10 g/L的TTC水溶液（用0.22 μm滤膜过滤除菌）。培养基于45℃～50℃存放，到倾注平皿之前不可超过4 h，有培养基的平皿应在2℃～8℃保存。超过30天不用，弃去。培养基25℃的pH值为7.2±0.2。

#### A. 10 脑心浸液琼脂培养基

##### A. 10.1 成分

牛脑浸出粉	10.0 g
葡萄糖	2.0 g
牛心浸出粉	9.0 g
NaCl	5.0 g
豚蛋白胨	10.0 g
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2.5 g
琼脂	15.0 g
蒸馏水	1000 mL

##### A. 10.2 制法

将上述各成分煮沸溶解于蒸馏水中，121℃灭菌15 min，冷却备用。灭菌后，培养基25℃的pH值为7.4±0.2。

#### A. 11 3%过氧化氢溶液

##### A. 11.1 成分

30%过氧化氢溶液	100 mL
蒸馏水	900 mL

##### A. 11.2 制法

吸取100 mL 30%过氧化氢溶液，溶于900 mL蒸馏水中，混匀，分装备用。临用时配制。

#### A. 12 脑心浸液液态培养基

脑心浸液液态培养基不含琼脂，其它成分与脑心浸液琼脂培养基相同，加热溶解后，121℃灭菌15 min，冷却备用。灭菌后，培养基25℃的pH值为7.4±0.2。

#### A. 13 胆汁液态培养基

胆汁液态培养基40 mL 100 g/L 无菌牛胆盐溶液（将4.0 g牛胆盐溶于40 mL蒸馏水中，膜过滤除菌），再加入上述60 mL无菌脑-心浸液液态培养基。培养基25℃的pH值为7.4±0.2。

#### A. 14 CN 琼脂

##### A. 14.1 成分

明胶蛋白胨	16.0 g
胰蛋白胨	10.0 g
硫酸钾	10.0 g
氯化镁	1.4 g
甘油	10 mL
琼脂	15 g～20 g
蒸馏水	1000 mL
CN 补充成份	
溴化十六烷基三甲铵（cetrimide）	0.2 g

萘啶酮酸 0.015 g

#### A. 14.2 制法

将明胶蛋白胨、胰蛋白胨、硫酸钾、氯化镁、琼脂加热溶解于1000 mL蒸馏水中。加入10 mL甘油，煮沸至完全溶解，121 °C高压灭菌15 min。灭菌后，待培养基冷却至45 °C~50 °C时，加入溶于2 mL灭菌蒸馏水的CN补充成分，与尚处于融溶状态的基础培养基混合，倾注到灭菌平板上，培养基厚度至少高5 mm，培养基25 °C pH应在7.1±0.2。将制备好的平板置于黑暗处，于2 °C~8 °C保存，同时防止干燥，在1个月内使用。不要使培养基保持融溶状态超过4 h。

#### A. 15 绿脓菌素测定用培养基

##### A. 15.1 成分

蛋白胨	20.0 g
氯化镁	1.4 g
硫酸钾	10.0 g
琼脂	18.0 g
甘油	10.0 g
蒸馏水	1000 mL

##### A. 15.2 制法

将蛋白胨、氯化镁和硫酸钾加到蒸馏水中，加热溶解，加入琼脂和甘油，加热煮沸溶解，分装于试管内，115 °C灭菌20 min后，制成斜面备用。灭菌后，培养基25 °C的pH值为7.4±0.2。

#### A. 16 1mol/L 盐酸

##### A. 16.1 成分

浓盐酸	90 mL
蒸馏水	1000 mL

##### A. 16.2 制法

移取浓盐酸90 mL，用无菌蒸馏水稀释至1 000 mL。

#### A. 17 乙酰胺液体培养基

##### A. 17.1 成分

###### A. 17.1.1 溶液A

磷酸二氢钾	1.0 g
硫酸镁	0.2 g
乙酰胺	2.0 g
氯化钠	0.2 g
蒸馏水	900 mL

###### A. 17.1.2 溶液B

钼酸钠 (Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)	0.5 g
硫酸亚铁 (FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	0.05 g
蒸馏水	100 mL

##### A. 17.2 制法

加热溶解A组分，然后将1 mL溶液B加入到900 mL新鲜制备的溶液A中，用蒸馏水定容到1000 mL。分装到试管中，每管5 mL，盖好试管帽后，121 °C灭菌15 min。低温2 °C~8 °C黑暗条件下保存，三个月内使用。灭菌后，培养基25 °C的pH值为7.0±0.5。

#### A. 18 钠氏试剂

## A. 18.1 成分

氯化汞	10.0 g
碘化钾	7.0 g
氢氧化钠	16.0 g

## A. 18.2 制法

称取 16 g 的 NaOH 溶于 50 mL 无氨水中, 冷却。称取 10 g HgCl<sub>2</sub> 和 7 g 的 KI 溶于少量的无氨水中, 然后将此溶液在搅拌下, 缓慢加入氢氧化钠溶液中, 用无氨水定容至 100 mL。盛在棕色试剂瓶内, 存于黑暗处。有效期达 1 年。

注: HgCl<sub>2</sub>有毒, 请避免摄入。

## A. 19 氧化酶试剂

## A. 19.1 成分

<i>N, N, N', N'</i> -四甲基对苯二胺盐酸盐	1.0 g
蒸馏水	100 mL

## A. 19.2 制法

将 *N, N, N', N'*-四甲基对苯二胺盐酸盐溶解于蒸馏水中, 少量新鲜配制。

## A. 20 金氏 B (King' s B) 培养基

## A. 20.1 成分

蛋白胨	20.0 g
甘油	10 mL
磷酸氢二钾	1.5 g
硫酸镁 (MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O)	1.5 g
琼脂	15.0 g
蒸馏水	1000 mL

## A. 20.2 制法

煮沸溶解以上各组分, 将培养基分装到试管中, 每管 5 mL, 盖好试管帽后, 121 °C 灭菌 15 min。灭菌后, 制成斜面备用。灭菌后, 培养基 25 °C 的 pH 值为 7.2±0.2。于低温 2 °C~8 °C 黑暗条件下保存, 3 个月内使用。

## A. 21 0.1%蛋白胨水

## A. 21.1 成分

蛋白胨	1.0 g
蒸馏水	1000 mL

## A. 21.2 制法

加热溶解蛋白胨于蒸馏水中, 121 °C 灭菌 15 min。灭菌后, 培养基 25 °C 的 pH 值为 7.0±0.2。

## A. 22 胰脲-亚硫酸盐-环丝氨酸 (TSC) 琼脂

## A. 22.1 基础成分

胰蛋白胨	15.0 g
大豆蛋白胨	5.0 g
酵母浸粉	5.0 g
焦亚硫酸钠	1.0 g
柠檬酸铁铵	1.0 g
琼脂	15.0 g

蒸馏水 900 mL

#### A. 22.2 D-环丝氨酸溶液

溶解1 g D-环丝氨酸于200 mL 蒸馏水，膜过滤除菌后，于2℃~8℃冷藏保存备用。

#### A. 22.3 制法

将基础成分加热煮沸至完全溶解，分装，121℃高压灭菌15 min。临用前每250 mL基础溶液中加入20 mL D-环丝氨酸溶液，混匀，倾注平皿。培养基25℃最终pH值为7.6±0.2。

#### A. 23 液体硫乙醇酸盐（FT）培养基

##### A. 23.1 成分

胰酶消化酪蛋白胨	15.0 g
L-胱氨酸	0.5 g
葡萄糖	5.0 g
酵母浸粉	5.0 g
氯化钠	2.5 g
硫乙醇酸钠	0.5 g
刃天青（resazurin）	0.001 g
琼脂	0.75 g
蒸馏水	1000 mL

##### A. 23.2 制法

将上述成分煮沸溶解，分装试管，每管10 mL，121℃高压灭菌15 min。灭菌后，培养基25℃的pH值为7.1±0.2。临用前隔水煮沸10 min，以驱除培养基中溶解的氧气，迅速冷却。

#### A. 24 缓冲动力-硝酸盐培养基

##### A. 24.1 成分

蛋白胨	5.0 g
牛肉浸粉	3.0 g
硝酸钾	5.0 g
磷酸氢二钠	2.5 g
半乳糖	5.0 g
甘油	5.0 mL
琼脂	3.0 g
蒸馏水	1000 mL

##### A. 24.2 制法

将以上成分加热煮沸至完全溶解，分装试管，每管10 mL，121℃高压灭菌15 min。灭菌后，培养基25℃的pH值为7.3±0.2。如果当天不用，置2℃~8℃冷藏保存。临用前煮沸或流动蒸汽加热15 min，迅速冷却至接种温度。

#### A. 25 硝酸盐还原试剂

##### A.25.1 甲液

将对氨基苯磺酸8 g溶解于5 mol/L乙酸溶液1000 mL中。

##### A.25.2 乙液

将5 g α-萘酚溶解于5 mol/L乙酸溶液1000 mL中。

#### A. 26 含铁牛奶培养基

##### A. 26.1 成分

新鲜全脂牛奶	1000 mL
硫酸亚铁 (FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O)	1.0 g
蒸馏水	50 mL

#### A. 26. 2 制法

将硫酸亚铁溶解于蒸馏水中，不断搅拌，缓慢地加入于1000 mL牛奶中，混匀。分装试管，每管10 mL，115 °C高压灭菌10 min，灭菌后迅速取出并尽快冷却。本培养基必须新鲜制备。

#### A. 27 乳糖-明胶培养基

##### A. 27. 1 成分

蛋白胨	15.0 g
酵母浸粉	10.0 g
乳糖	10.0 g
酚红	0.05 g
明胶	120.0 g
蒸馏水	1000 mL

##### A. 27. 2 制法

加热溶解蛋白胨、酵母浸粉和明胶于1000 mL蒸馏水中，加入乳糖和酚红。分装试管，每管10 mL，121 °C高压灭菌10 min。灭菌后，培养基25 °C的pH值为7.5±0.2。如果当天不用，置2 °C~8 °C冷藏保存。临用前煮沸或流动蒸汽加热15 min，迅速冷却至接种温度。

食品安全国家标准公开征求意见稿

## 附录 B

## 饮用天然矿泉水的采集和保存

## B.1 范围

本法适用于各类饮用天然矿泉水水源——抽水井、自流井、泉等水样的采集和保存。

## B.2 采样容器与洗涤

## B.2.1 采样容器

磨口硬质玻璃瓶和高压无色聚乙烯瓶。

## B.2.2 容器的洗涤

B.2.2.1 新启用的硬质玻璃瓶和聚乙烯塑料瓶，必须先用硝酸溶液(1+1)浸泡一昼夜，再分别选用不同的洗涤方法进行清洗。

B.2.2.2 硬质玻璃瓶先用盐酸溶液(1+1)洗涤，再用自来水冲洗。

B.2.2.3 聚乙烯塑料瓶可根据情况，选用盐酸或硝酸溶液(1+1)洗涤，也可用氢氧化钠溶液(10 g/L)洗涤，再用自来水冲洗。

B.2.2.4 用于盛装微生物检验试样的样瓶，最好采用 500 mL 具塞广口瓶。容器洗净后将瓶的头部及颈部用铝箔或牛皮纸等防潮纸包扎好。置干燥箱经 160 °C 干热灭菌 2 h 或 121 °C 高压蒸汽灭菌 15 min。

## B.3 各类水源的采样方法和要求

## B.3.1 采样方法和要求

采样前要用所取水样冲洗采样瓶及瓶塞至少 3 次(用于微生物检验的水样瓶除外)，取样时应缓缓使水流入采样瓶中。采样时瓶口要留有 1%~2% 的空间。采好后立即盖好瓶塞，用纱布缠紧瓶口，最后用石蜡将口严密封固。

B.3.1.1 天然泉点的采样应避免在静滞的水池中采集，而应选择在尽量靠近主泉口集中冒泡处或泉的主流处，在流动但又不湍急的水中采样。

B.3.1.2 喷泉或自流井的采样，可在涌水处使用清洁导管将主流导出一部分收集。

B.3.1.3 钻孔的采样，应注意经一定时间抽水，大约抽出相当于井筒贮水体积 2 倍~3 倍的水量之后再予收集。

B.3.1.4 取平行水样时，必须在相同条件下同时采集，容器材料也应相同。

B.3.2 采样时需在现场测定水温、pH，观察和描述水的外观物理性质(色、臭、味、肉眼可见物等)，对于碳酸矿泉水，应现场测定游离二氧化碳、碳酸氢根、碳酸根、钙、镁的含量。

B.3.3 微生物检验的水样采集和要求按照 GB 4789.1 执行。

## B.4 各类分析水样的采集和保存方法

各类分析水样的采集和保存，必须符合下述有关规定。对需要加入保护剂的水样，采样时必须严格注意试剂的纯度、浓度、加入量、加入的顺序和加入方法等具体规定。试样保存一般技术要求见表 B.1。采样前应把所需的一切用品准备妥当。

## B.4.1 原水样

即水样不加入任何保护试剂，供测定 pH 值、游离二氧化碳、碳酸氢根、碳酸根、硝酸根、亚硝酸根、氯酸根、硫酸根、氟离子、溴离子、碘离子、硼酸根、铬、偏硅酸、溶解性总固体等项目。用硬质玻璃瓶或聚乙烯塑料瓶取 2500 mL 水样(测定硼和偏硅酸的水样必须用聚乙烯塑料瓶)，并尽快送检。

#### B.4.2 酸化水样

取容积为 1000 mL 的干净硬质玻璃瓶或聚乙烯塑料瓶,用待测水样冲洗后,加入 5 mL 硝酸溶液(1+1),转动容器使酸浸润内壁,装入 1000 mL 待测水样(若水样浑浊,必须进行过滤),摇匀(水样 pH 值应小于 2),密封(瓶盖不能用胶塞,也不能用胶布缠封,以防锌等污染),供测定铜、铅、锌、镉、锰、总铁、镍、钴、铬、锂、铍、锶、钡、银、钒、钙、镁、钾、钠等项目。用容积为硬制玻璃瓶或塑料瓶取水样 100 mL~200 mL,加硫酸溶液(1+1)酸化,使  $\text{pH}<2$ ,供测定砷。

#### B.4.3 碱化水样

取水样 2000 mL 于容积为 2000 mL 的硬质玻璃瓶中,加入 5 mL 氢氧化钠溶液(400 g/L)(或 1 g 固体氢氧化钠),摇匀,使水样  $\text{pH}\geq 12$ ,密封,低温保存,供测定挥发性酚类和氰化物。

#### B.4.4 测定亚铁、三价铁的水样

取水样 250 mL 于聚乙烯塑料瓶或硬质玻璃瓶中,加 2.5 mL 硫酸溶液(1+1)和 0.5 g 硫酸铵,摇匀、密封。

#### B.4.5 测定硫化物的水样

在 500 mL 硬质玻璃瓶中,加入 10 mL 乙酸锌溶液(200 g/L)和 1 mL 氢氧化钠溶液[ $c(\text{NaOH})=1 \text{ mol/L}$ ],然后注入水样(近满,留少许空隙),盖好瓶塞反复振摇,密封。在水样标签上要注明所加试剂的准确体积。试样保存的一般技术要求见表 B.1。

#### B.4.6 测定微生物的水样

遵循无菌采样程序从现场采集水样,对应放入 5 个无菌采样容器,作为 5 份试验样品。若同一水源存在多个泉点、涌水处或钻孔时,采样点和采样次数应尽可能均匀分布,累计采集 5 份试验样品。密封、冷藏送检。采样过程中,应防止对水样的一切外来污染。

表 B.1 试样保存的一般技术要求

测定项目	容器材料 <sup>1)</sup>	体积/mL	处理技术	保存时间	备注
色度	G、P	100	2℃~5℃冷藏	24 h	最好现场测定
臭、味	G	100	-	6 h	最好现场测定
浑浊度	G、P	100	-		现场测定
总硬度	G、P	200	冷藏, 酸化至 $\text{pH}<2$	1~3 d 30 d	
总碱度、总酸度、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$	G、P	200	冷藏	24 h	最好现场测定
As	G、P	200	用硫酸酸化至 $\text{pH}<2$	7 d	
Al、Na、Ca、Mg、总Fe、Mn、 Cu、Zn、总Cr、Pb、Cd、Mo、 Co、Ni、Be、Ag、Ba、K、V	P	200	用硝酸酸化至 $\text{pH}<2$	6个月	特别要注意试样不要被污染及加入硝酸的纯度
Cr	G、P	100	冷藏	尽快测定	
$\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$	G、P	250	加硫酸、硫酸铵 排除大气中氧	7 d	最好尽快测定
Se	G	100	用氢氧化钠碱化至 $\text{pH}>11$	6个月	

表 B.1 (续)

测定项目	容器材料 <sup>1)</sup>	体积 mL	处理技术	保存时间	备注
Hg	G	100	加硝酸酸化至pH<2, 并加入重铬酸钾, 使其浓度为0.5 g/L	数月	
氟化物、氯化物	P	500	冷藏	6个月	
碘化物	G、P	100	冷藏、避免阳光直射	尽快测定	
硼酸盐	P	100	冷藏	12个月	
氨、硝酸盐	G、P	400	用硫酸酸化至pH<2, 2℃~5℃冷藏	24 h	
亚硝酸盐	G、P	100	2℃~5℃冷藏	尽快测定	
硫酸盐	G、P	100	2℃~5℃冷藏	28 d	
硫化物	G、P	500	加乙酸锌处理, 氢氧化钠碱化	7 d	
磷酸盐	G、P	100	用硫酸酸化至pH<2	30 d	
硅酸盐	P	100	大于100 mg/L时用硫酸酸化至pH<2	20 d	
CO <sub>2</sub> 、pH	G、P	100		现场测定	
耗氧量	G、P	100	用硫酸酸化至pH<2, 冷藏	7 d	
氰化物	G、P	100	加氢氧化钠碱化至pH>12	24 h	
酚类	G	1000	加氢氧化钠碱化至pH>12	24 h	
阴离子合成洗涤剂	G	100	加三氯甲烷 2℃~5℃, 冷藏	7 d	
总α、总β	G	3000	-		
<sup>226</sup> Ra	G、P	2000	盐酸酸化至pH<3		
大肠菌群、粪链球菌、铜绿假单胞菌、产气荚膜梭菌	G	>1200mL/份	密封, 冷藏	6 h	采集5份样品

<sup>1)</sup>G—硼硅玻璃、P—聚乙烯塑料。  
注：水样保存技术，只是一般性的指导，它应和所使用的分析方法联系起来，二者应该兼顾。