

# 我国环境监测中的氨氮分析方法

温丽云<sup>1,2</sup>, 范朝<sup>2</sup>, 袁倬斌<sup>2</sup>

(1. 中国科学院研究生院化学部, 北京 100039; 2. 河北省环境计量技术研究中心, 河北 石家庄 050051)

摘 要: 对我国环境监测中的氨氮化学分析方法和仪器分析方法进行了概述, 并对方法的改进和影响因素予以综述。

关键词: 环境监测; 氨氮; 改进; 影响因素

中图分类号: X831 文献标识码: A 文章编号: 1002-6002(2005)03-0028-04

## Ammonia-nitrogen analysis method in China environment monitoring

WEN Li-yun<sup>1,2</sup>, et al (1. Depart. of Chem. of the Graduate School of CAS, Beijing 100039, China)

**Abstract:** In this paper, ammonia-nitrogen chemistry and instrument analysis method in environment monitoring are summarized. And the improvement and influence factors in method are also reviewed.

**Key words:** environment monitoring; ammonia-nitrogen; improvement; influence factors

氨氮普遍存在于地表水及地下水中。水中的氨氮是指以游离氨( $\text{NH}_3$ )和离子铵( $\text{NH}_4^+$ )形式存在的氮, 这两种氮的组成比取决于水体的 pH 值, 当 pH 值高时, 游离氨的比例高; 反之, 则离子铵的比例高。

水中氨氮的来源主要是生活污水中含氮有机物受微生物作用分解的产物、某些工业废水及农田排水<sup>[1]</sup>。此外, 死亡的鱼、虾以及残余饲料等在细菌的作用下也逐渐分解产生氨。氨氮含量较高时, 对鱼类呈现毒副作用, 对人体也有不同程度的危害。因此, 氨氮含量的多少是判断水体污染程度的重要标志之一。氨氮是我国水体环境监测的重要指标, 是各级监测站点的必测项目。

## 1 分析方法的种类及改进

### 1.1 分析方法种类

#### 1.1.1 分光光度法

##### 1.1.1.1 纳氏试剂比色法

测定水中铵的经典分析方法, 是国家标准方法。其原理是以游离态的氨或铵离子等形式存在的氨氮与纳氏试剂反应生成黄棕色络合物, 该络合物的色度与氨氮的含量成正比。纳氏试剂比色法测试范围是最大试样体积为 50ml 时, 氨氮浓度可达  $2\text{mg/L}$ , 使用 10mm 比色皿时, 最低检出浓度

为  $0.05\text{mg/L}$ 。

为了提高测定灵敏度和准确度, 孔庆池<sup>[2]</sup>等实验证明加入胶体保护剂聚乙烯醇(PVA)可进一步提高胶体的稳定性和测定准确度, 在最佳实验条件下, 该方法的最低检出限为  $0.015\text{mg/L}$ , 回收率为  $98.6\% \sim 103\%$ 。

##### 1.1.1.2 水杨酸分光光度法

原理是在亚硝基铁氰化钠存在下, 铵与水杨酸盐和次氯酸盐反应生成蓝色化合物, 在 697nm 处比色测定。测试范围是使用最大试样体积为 8ml 时, 氨氮浓度可达  $1\text{mg/L}$ , 使用 10mm 比色皿时, 最低检出浓度为  $0.01\text{mg/L}$ 。

##### 1.1.2 蒸馏-滴定法

原理是调节试样的 pH 在 6.0 ~ 7.4 范围内, 加入氧化镁使其呈微碱性, 蒸馏释出的氨被接收瓶中的硼酸溶液吸收。以甲基红—亚甲蓝为指示剂, 用酸标准溶液滴定馏出液中的铵。测试范围是采用 10ml 试样, 可测氨氮含量高达 10mg, 相当于样品浓度高达  $1000\text{mg/L}$ 。使用 250ml 试样, 实际测定的最低检出浓度为  $0.2\text{mg/L}$ 。

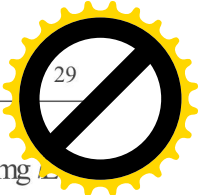
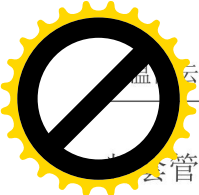
##### 1.1.3 氨气敏电极法

原理是氨气敏电极以平头 pH 玻璃电极为指示电极, 以银—氯化银为参比电极形成一组电极对, 一并置于盛有  $0.1\text{mg/L}$  的氯化铵内充液的塑

收稿日期: 2004-06-17

基金项目: 国家自然科学基金(29875027; 20175025); 分析化学重点基金(20235010)及分析化学国家重点实验室基金、国家

“九五”科技攻关重点类项目(96-A23-01-06)和国家“十五”科技攻关重大项目(2001BA210A04)的第七课题  
作者简介: 温丽云(1976—), 女, 河北乐亭人, 在读硕士研究生, 工程师。



套管中。套管底部有一仅氨气可以通过的疏水微孔透气膜。氨气进入内充液后,反应如下: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ ,结果内充液的 pH 值随氨的进入而增高,使玻璃电极电位发生变化。当溶液离子强度、酸度、性质恒定,电极参数恒定条件下,测得溶液的电位值与氨浓度符合能斯特方程。

该氨气敏电极法线性范围为  $0.4 \sim 1400 \text{ mg/L}$ ,最低检出限能达到  $0.07 \text{ mg/L}$ 。骆冠琦等<sup>[3]</sup>研究了离子选择电极测定生活污水中氨氮的实验方法及影响因素,实验表明精密度和准确度均符合生活污水水质分析的质量要求。刘乃芝<sup>[4]</sup>通过降低电极内充液的浓度和在 pH 调节剂中加入 10% 的乙醇减少 Nemst 响应偏差,使线性范围扩大,检出限降低。此外,萧涌瀚<sup>[5]</sup>应用离子选择电极法测定废水中的氨氮,不需对样品预蒸馏,对废水中可能存在的  $\text{CN}^-$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  等 14 种干扰物质,在强碱性条件下,加入  $\text{Na}_2\text{-EDTA}$  作掩蔽剂,对测定没有明显的干扰。杨佩欣等<sup>[6]</sup>采用氨气敏电极法测定城市污水中的氨氮,检测限为  $0.01 \text{ mg/L}$ ,测定下限为  $0.1 \text{ mg/L}$ ,检测范围在  $1.0 \sim 1000.0 \text{ mg/L}$ 。芦平生等<sup>[7]</sup>用氨气敏电极直接测定工业废水中的氨氮,检测范围为  $0.07 \sim 1400 \text{ mg/L}$ ,用电极法和蒸馏法进行比较,经 t 检验两种方法测得结果无显著性差异。

#### 1.1.4 酶法

酶法是二十世纪 70 年代以来迅速发展的领域,它用以测定食品和血液中的氨氮已有报道<sup>[8,9]</sup>。

柳畅先等<sup>[10]</sup>基于谷氨酸脱氢酶催化下列反应:



通过测定还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NADH)吸光度的变化率得出该酶促反应速率,对应不同  $\text{NH}_4\text{Cl}$  浓度制得的标准曲线,可测得水样中的氨氮含量。由于酶促反应的专一性,可避免试样中众多共存组分的干扰,减少繁杂的预处理过程。应用酶促反应速率测定法,不需要底物转变完全,可减少测定时间,节省酶的用量,也使得测定更灵敏。另外,因为测定的是吸光度的变化率,则可减少背景干扰,使结果更为准确可靠,适合复杂环境试样的测定。通过对 3 个不同的实际水样测试得到,相对标准偏差为  $3.0\% \sim 4.1\%$ ,加

标回收率为  $98\% \sim 107\%$ ,检出限为  $0.31 \text{ mg/L}$ 。

### 1.2 分析方法的改进

#### 1.2.1 水样的保存

周秀华<sup>[11]</sup>对氨氮水样进行保存时间稳定性试验,发现  $1000 \text{ ml}$  地表水氨氮水样滴加  $5 \text{ ml}$  硫酸酸化至  $\text{pH} < 2$  可抑制氨氮的水解、氧化还原反应。水样于  $20^\circ\text{C} \sim 28^\circ\text{C}$  下保存半个月,氨氮测定结果基本无影响。肖志芳等<sup>[12]</sup>经过对比实验表明,水样采集后立即加入盐酸至  $\text{pH} < 2$ ,注入聚乙烯瓶中密闭室温保存,连续测定  $30 \text{ d}$ ,氨含量恒定。陈惠琴<sup>[13]</sup>还提出待测水样应置隔离于实验操作室的地方,避免取样时受氨污染,使用浓氨水或氨缓冲液的项目,应在通风橱内完成并避免与氨氮测定同时进行。

#### 1.2.2 水样的预处理

何睦贤<sup>[14]</sup>通过试验发现,改用沉淀后分离效果大为改善。高浓度废水可用无氨水按倍数稀释后测定。苏爱梅<sup>[15]</sup>提出对高浓度水样先稀释再絮凝沉淀或蒸馏的方法,可以克服测定过程中不显色或浑浊现象。

通常测定水中氨氮时,以  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  为絮凝沉淀剂,沉淀速度快但分层不清,上层液中呈白色混浊。以  $\text{Al}(\text{OH})_3$  为沉淀剂时,则试剂配制麻烦。吴景兰<sup>[16]</sup>采用两者混合物絮凝分离效果好。对氨氮含量高的工业废水水样,用国家标准方法测定时需要在水样进行预处理后才能测定,赵以佑<sup>[17]</sup>摸索出了一种高浓度氨氮分析的改进方法,在取水样加酒石酸钾钠溶液、纳氏试剂显色后,用无氨水定量稀释,直接测定,该方法与标准方法的测定结果之间无显著性差异。

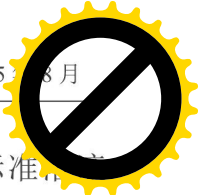
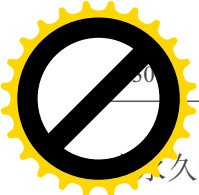
#### 1.2.3 试剂的制备与储存

陈惠琴等<sup>[13]</sup>经过试验研究和观察,发现贮存于棕色玻璃瓶的纳氏试剂稳定性较差,贮存于聚乙烯塑料瓶的纳氏试剂稳定性好,测定氨氮的精密度和准确度优于用棕色玻璃瓶贮装的纳氏试剂。此外还提出若在实验室中贮存无氨水,容器应加盖密封,置清洁的分析室中,临用前用纳氏试剂加以检查。陈惠琴等<sup>[13]</sup>还提出了酒石酸钾钠(Tar)溶液改进的制备方法,既可快速消除其中残留的杂质  $\text{NH}_3$ ,又不影响氨氮测定,且有助于降低试剂空白值,改善测定检出限。

#### 1.2.4 无氨水的制备

张松龄等<sup>[18]</sup>采用一种特殊方法用鲜活菹草茎叶制取无氨纯水——菹草蒸馏水,并用此水配





永久性标准比色阶用于水中氨氮的测定,经过两年多的实验研究发现,各色阶吸光值始终恒定。

此外,银小兵<sup>[19]</sup>、刘艳等<sup>[20]</sup>均提出用新鲜蒸馏水代替无氨水测定水中氨氮,对氨氮分别用新鲜蒸馏水和无氨水进行试验,结果表明二者在空白吸光度、校准曲线上均无明显差异,具有较好的精密度和准确度。

### 1.2.5 降低空白值

韩瑞梅<sup>[21]</sup>提出用3%硼酸或5%硫酸浸泡滤纸经反复清洗至中性后,再过滤氨氮水样的絮凝液,可有效降低全过程空白值,提高方法灵敏度。苏爱梅等<sup>[15]</sup>经实验证明,显色液中氯化汞的含量越高则空白值越高,因此,在保证一定反应浓度的条件下,适当降低氯化汞的用量是降低空白值的有效途径。许华瑞等<sup>[22]</sup>提出制备好的无氨水要放置1d后使用,空白值比当天用时低。陈惠琴等<sup>[13]</sup>经过试验研究发现,改进制备方法后的酒石酸钾钠(Tar)溶液有助于降低试剂空白值。

## 2 仪器化的分析方法

### 2.1 电极法

郑伟等<sup>[23]</sup>研制出TL-2000型便携式海水氨氮自动分析仪,用于快速分析与检测海水氨氮含量。测量原理为在自然条件下,海水中的 $[\text{NH}_4^+]$ 与 $[\text{NH}_3]$ 共存。由离解平衡式: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ ,得到 $[\text{NH}_4^+]/[\text{NH}_3] = K_b/[\text{H}^+]$   $K_w = K_b/10^{\text{pH}} K_w$ ,常数 $K_b$ 、 $K_w$ 与温度 $T$ 有关。因此只要同时测得海水中的 $T$ 、 $\text{pH}$ 和 $[\text{NH}_3]$ ,就可以得到离解度,求出海水中的 $[\text{NH}_4^+]$ ,进而根据 $[\text{NH}_4^+]$ 与 $[\text{NH}_3]$ 求出海水中的氨氮含量。

该仪器由水下传感器和手持型上位机两部分组成,水下传感器主要包括温度传感器、 $\text{pH}$ 电极和氨气敏电极。传感器检测下限为 $10^{-6}\text{mol/L}$ ,测量范围 $0\sim 1\text{mmol/L}$ , $\text{pH}$ 电极和氨气敏电极的使用寿命一般为3~6个月。根据现场平行实验,该仪器法接近于标准方法的分析结果,但有一定误差,主要来源于电极表面污染、 $\text{pH}$ 电极和氨气敏电极响应的滞后效应、温度变化、现场杂散信号的干扰等。

为了能够对海洋实地环境进行实时无人自动测量,刘文耀等<sup>[24]</sup>就三电极复合探头的氨氮在线测量进行了研究。该三电极复合探头为 $\text{NH}_3/\text{pH}/T$ 型,测量原理同以上便携式分析仪所述。用

$\text{NH}_3/\text{pH}/T$ 三电极复合探头测试 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 标准,得到标准曲线的 $r=0.99$ ,对实际海水24h测试的方差为0.03,15d测试的方差为0.06,对养殖区水样30d测试的方差为0.07。

### 2.2 分光光度法

周雯等<sup>[25]</sup>应用Smart现场分析仪测定氨氮。采用纳氏试剂比色法原理,测定范围 $0\sim 3\text{mg/L}$ 。

门雅莉等<sup>[26]</sup>应用工业自动分析仪,计算机程序控制连续自动分光光度法测定水中氨氮。通常情况下,1h可以连续分析60个样品。多次反复测定结果表明,氨氮在 $0.2\sim 3.0\text{mg/L}$ 范围内吸光度与浓度呈线性关系,最低检测限是 $0.04\text{mg/L}$ 。在6h内对标准样品连续反复测定结果无变化。

### 2.3 离子色谱法

汪春学等<sup>[27]</sup>采用ZIC-II型离子色谱仪、YSC阳离子保护柱和YSC阳离子分析柱分析环境样品中的氨氮。选择HCl作淋洗液,浓度为 $5\text{mmol/L}$ ,流速 $2.0\text{ml/min}$ 。测定上限 $10\text{mg/L}$ ,最低检出限 $0.01\text{mg/L}$ ,样品需进行过柱处理,以免分离柱中毒,柱效下降。经与纳氏比色法对比和对地表水、地下水、雨水、工业废水样品进行测定,结果理想,方法简便可行。

### 2.4 吹脱-电导法

王维德等<sup>[28]</sup>建立了吹脱-电导法测定水和污水中氨氮的方法。原理是在 $90^\circ\text{C}$ 下,以气体将水样中氨氮吹出,用 $5\text{mg/L}$ 硫酸吸收,吸收液电导率的变化在一定浓度范围内与氨氮吹出量呈正比。根据该原理研制的氨氮在线自动分析仪测定自行配制的氨氮标准溶液,相对误差在2.8%以内,最低检出限为 $0.1\text{mg/L}$ 。

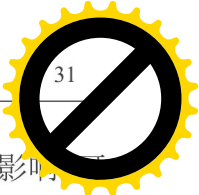
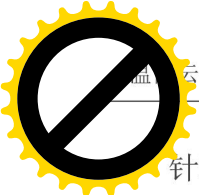
### 2.5 流动注射法

刘芳等<sup>[29]</sup>采用PE-300流动注射分析仪测定水中的氨氮。原理为铵离子在碱性条件下以亚硝基铁氰化钾作催化剂,利用二氯异三聚氰酸盐在碱性溶液中水解成的次氯酸离子和水杨酸盐生成蓝色产物。当反应带处于比色皿中时蠕动泵停止工作,于 $690\text{nm}$ 波长处,在指定的时间测定铵的浓度。检测限为 $0.005\text{mg/L}$ ,精密度小于0.7%,适于大批量环境样品的分析。

此外,肖文<sup>[30]</sup>对间隔式流动分析仪测定水中氨氮的测量不确定度予以研究计算,结果为测定氨氮在 $0.1\sim 0.5\text{mg/L}$ 范围的扩展不确定度: $U_{95}=0.017\text{mg/L}$ , $v_{\text{eff}}=40$ 。

### 2.6 蒸馏-滴定法





针对高浓度污水氨氮的自动监测,刘秀宁<sup>[31]</sup>研究开发了以蒸馏-滴定法为原理的氨氮自动监测仪。该氨氮自动监测仪的检测流程依次为水样、预处理、蒸馏、冷凝吸收、滴定、终点检测、废液排放。仪器的关键技术在于研制出一种专用综合试剂,既可简化标准方法的步骤又能调节试样和蒸馏体系的 pH 值,掩蔽干扰物质。该仪器在排污口实地现场运行时,监测频次为 4~24 次/天,浓度范围 15~800 mg/L,相对误差最大为 5.7%,平均为 2.88%。

### 3 影响氨氮测定的因素

#### 3.1 温度

李欣等<sup>[32]</sup>通过实验发现,配制纳氏试剂加入氯化汞时碘化钾溶液的温度稍高些(40℃左右),检出限较低,反应灵敏;纳氏试剂必须低温保存(一般保存在冰箱冷藏室内),以防颜色加深,保证空白值的稳定性。陈国强等<sup>[33]</sup>和骆冠琦等<sup>[3]</sup>提出在用氨气敏电极测定氨氮的过程中应注意标准溶液与水样的温度保持恒定,才能使电极斜率 S 及标准电势  $E_0$  在测量过程中保持不变。

#### 3.2 pH

苏爱梅等<sup>[13]</sup>实验发现,当水样呈酸性时,氨氮测定值为 0.236 mg/L,呈碱性时测定值为 1.035 mg/L,呈中性时测定值为 0.920 mg/L,酸碱度对氨氮测定有影响。采用纳氏试剂测定氨氮时,加入不同量的 NaOH 溶液对纳氏试剂反应影响较大,经过多次实验,肖福东<sup>[34]</sup>认为当加入 0.5 ml NaOH 中和 10 ml 硼酸最合适,此时 pH 值约为 12.49。骆冠琦等<sup>[3]</sup>、萧涌瀚<sup>[5]</sup>和陈国强等<sup>[33]</sup>都认为当溶液  $\text{pH} < 11$  时,不能使溶液中的  $\text{NH}_4^+$  全部转化为  $\text{NH}_3$ ,使测定结果偏低;当  $\text{pH} > 11$  时,有 99% 以上的  $\text{NH}_4^+$  转化为  $\text{NH}_3$ ,此时 pH 值对测定电极电位没有影响。

#### 3.3 浊度

水样的浊度往往会对纳氏试剂比色测定结果产生影响,俞是冉<sup>[35]</sup>建议做补偿校正:在 50 ml 比色管中,水样定容后加 1.0 ml 酒石酸钾钠溶液,混匀。加 1.5 ml 15% 氢氧化钾溶液,测量吸光度(此为校正吸光度)。然后从水样经纳氏试剂比色测得吸光度中减去校正吸光度。

#### 3.4 锰

姜恩明等<sup>[36]</sup>发现饮用水中锰浓度高时,氨氮有偏高的趋势。实验中虽加入掩蔽剂,却未能消

除锰对氨氮检出的影响,排除蒸馏水等的影响,以推断锰对氨氮的影响是直接作用的结果,但其作用机制和消除方法有待探讨。

丁建森等<sup>[37]</sup>认为,锰的影响机理是棕黄色或棕色沉淀物  $\text{MnO}(\text{OH})_2$ ,与氨氮显色后的色泽一致是主要影响因素。并实验证明用 50% 酒石酸钾钠 1.0 ml + 0.2%  $\text{Na}_2\text{-EDTA}$  1.0 ml 代替纯酒石酸钾钠能隐蔽  $\text{Mn}^{2+}$  干扰。

#### 3.5 泡沫

在测定造纸、印染及含活性酶的工业废水时,常会出现大量泡沫,使蒸馏无法进行而导致测试失败。苏爱梅等<sup>[15]</sup>经试验发现,加入消泡剂硅油 I 可有效抑制蒸馏时泡沫的产生,使蒸馏顺利完成。硅油 I 性质稳定,不随水蒸汽逸出,对测定无干扰,取空白和同一水样,按常法作加消泡剂与不加消泡剂的对比试验,对实验结果进行 t 检验,均无显著性差异。

#### 3.6 交叉污染

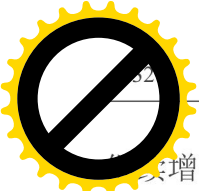
影响氨氮测定结果,除各种直接因素外还有间接因素如交叉污染等。许华瑞等<sup>[22]</sup>建议要避免测试项目之间的互相干扰,保持室内环境、玻璃器皿不被氨玷污。李欣等<sup>[32]</sup>提出氨氮测试过程必须注意交叉污染问题,如硝酸盐氮、氨氮不能同时同室进行,因为前者测试中必须使用氨水,而氨水的挥发性很强,纳氏试剂吸收空气中的氨而导致测试结果偏高。

#### 3.7 其它

何平<sup>[38]</sup>经试验分析证明,滤料中含有可溶性氨氮,尤以定量滤纸为甚。须采用絮凝沉淀过滤预处理时,最好选用含可溶性氨氮低的定性滤纸和超细玻纤滤膜过滤,滤前应用纯水 100 ml 充分洗涤以除去可溶性氨氮,可以除去由于滤料中可溶性氨引起的测量误差,提高方法的准确度、灵敏度。

### 4 结语

氨氮的测定方法种类较多,各有特点。纳氏试剂比色法是氨的经典测定方法,但是易受水中悬浮物和有色离子的干扰,需要进行预处理,使用的试剂毒性较大;水杨酸-次氯酸钠比色法具有灵敏、稳定的优点,但是同样具有比色法的弊端;蒸馏-滴定法适用于测定高浓度氨氮,但费电、费水、费时;电极法通常不需要对水样进行预处理,其测量范围宽、快速、灵敏,电极的使用寿命和稳定性



增强是电极法发展推广的重要条件;酶法具有简便、快速、灵敏、准确和干扰少的优点,其对操作人员技术水平要求很高,且实验材料为生物制剂,不便于贮存使用、价格高。

现代化科学仪器的发展方向是活体(in-live)、原位(in-situ)、实时(in-time)、在线(on-line),要求仪器小型化、人性化、易操作、易维护。结合我国自动监测仪器的种类和发展现状,笔者认为电极法不失为首选方法,但需进一步解决电极的寿命、稳定性、可靠性等问题。

#### 参考文献:

- [1] 奚旦立,孙裕生等.环境监测(修订版)[M].北京:高等教育出版社,1996.72.
- [2] 孔庆池,袁存光,闫汝军等.一种适合常规分析的氨氮测定方法[J].石油大学学报(自然科学版),1999,23(5):80—80.
- [3] 骆冠琦,黎耀.离子选择电极测定生活污水中的氨氮[J].中国卫生检验杂志,2000,10(4):388—391.
- [4] 刘乃芝.氨气敏电极测定水中氨氮的方法改进[J].山东环境,1996,70(1):11.
- [5] 萧涌瀚.应用离子选择性电极法测定废水中氨氮方法的研究[J].环境污染与防治,1993,15(5):33—35.
- [6] 杨佩欣,宋万.氨气敏电极法测定城市污水中的氨氮、硝态氮、凯氮[J].中国市政工程,1994,66(3):49—54.
- [7] 芦平生,潘月伟.用氨气敏电极法直接测定工业废水中的总氮、氨氮、凯氏总氮[J].中国给水排水,1989,5(2):41—45.
- [8] Canale Gutierrez L, Maquieira A, Puchades R. Analyst (London)[J]. 1990, 115(9): 1243—1246.
- [9] Quiles R, Fernandez Romero J M Fernandez E Luquez de Castro M D. Anal. Chim[J]. Acta. 1994, 294(1): 43—47.
- [10] 柳畅先,华崇理,孙小梅.水中氨氮的酶法测定[J].分析化学研究简报,1999,27(6):712—714.
- [11] 周秀华.地面水中氨氮样品稳定性试验[J].中国环境监测,1999,15(5):20.
- [12] 肖志芳,王秦霞,李耀根.用氨气敏电极测定水中氨氮含量方法的探讨[J].华西医科大学报,1991,22(4):403—405.
- [13] 陈惠琴,张亚平.提高生活饮用水氨氮检测质量的探讨[J].预防医学文献信息,2002,8(2):192—193.
- [14] 何睦贤.水样氨氮测试预处理方法的改进[J].中国环境监测,1997,13(4):58.
- [15] 苏爱梅,王俊荣.氨氮测定过程中有关问题的探讨[J].干旱环境监测,2003,17(2):123—125.
- [16] 吴景兰.测定水中氨氮预处理絮凝剂的改进[J].环境监测管理与技术,2000,12(5):39.
- [17] 赵以佑.改进高浓度氨氮的快速测定方法[J].贵州化工,2000,25(4):14—15.
- [18] 张松龄,王伟.水体氨氮比色测定法的改进[J].水利渔业,1999,19(6):7.
- [19] 银小兵.用新鲜蒸馏水代替无氨水测氨氮[J].石油天然气化工,1997,26(4):246—247.
- [20] 刘艳,隆鑫磊.用新制蒸馏水代替重蒸蒸馏水配制测定亚硝酸盐氮、氨氮、酚的试液[J].1996,8(5):42—43.
- [21] 韩瑞梅.水样中氨氮分析方法的改进[J].内蒙古环境保护,1995,7(3):21—22.
- [22] 许华瑞,蒋桂兰.影响氨氮测定的因素[J].中国环境监测,1995,11(6):64.
- [23] 郑伟,刘文耀,金月寒等.便携式海水氨氮自动分析仪的研制[J].分析仪器,2002,2:6—9.
- [24] 刘文耀,郑伟,孙振东等.基于三电极复合探头的氨氮在线测量[J].天津大学学报,2001,34(2):133—136.
- [25] 周雯,史啸勇.Smart 现场分析仪测定化学需氧量、氨氮[J].环境监测管理与技术,2000,12(1):33—34.
- [26] 门雅莉,毕彤,慕素兰.连续自动分光光度法快速测定水中氨氮[J].环境保护科学,1995,21(3):35—36,转61.
- [27] 汪春学,王书元,郑铁力.应用离子色谱对环境样品中氨氮的分析[J].中国环境监测,1996,12(3):56.
- [28] 王维德,于宝祥,梁秀凤.吹脱—电导法测定水中氨氮及其自动分析仪[J].环境监测管理与技术,2003,15(1):30—31,转35.
- [29] 刘芳,李俊.流动注射法测定水中氨氮[J].环境监测管理与技术,2001,13(4):33.
- [30] 肖文.间隔式流动分析仪测定水质中氨氮的测量不确定度[J].计量与测试技术,2003,1:35—37.
- [31] 刘秀宁.氨氮自动监测研究[J].环境导报,2002,6:10—11.
- [32] 李欣,曲仪.对纳氏试剂比色法测定水质中氨氮影响条件分析[J].环境保护科学,1998,24(2):26—27.
- [33] 陈国强,卢明宇.应用离子选择电极法测定生活污水中的氨氮[J].重庆环境科学,1998,20(3):58—90.
- [34] 肖福东.氨氮测定中采用蒸馏法处理样品时加碱中和的探讨[J].云南环境科学,2003,22(增刊):179—180.
- [35] 俞是冉.浊度在氨氮测定中的干扰及消除[J].中国环境监测,2003,19(1):17.
- [36] 姜恩明,徐威,朱延伟等.生活饮用水中锰对氨氮检出影响的初探[J].环境与健康杂志,1996,4:172.
- [37] 丁建森,李凌.饮用水中锰对氨氮检测影响的探讨[J].上海预防医学杂志,1997,9(10):474—475.
- [38] 何平.滤料可溶氧对测定水体中氨氮影响的消除[J].重庆环境科学,1994,16(1):58—59.