

# 气相色谱技术在饮用水水质检测中的应用研究

畅一萌

河北省廊坊水文勘测研究中心

DOI:10.12238/hwr.v9i2.6088

**[摘要]** 城市供水是城市基础设施的重要组成部分,城市供水的发展水平是城市现代化程度的重要标志,也是城市可持续发展的重要保障。本论文深入探讨了气相色谱技术在饮用水水质检测领域的应用,论证其基本原理与主要优势,全面分析了其在饮用水中有机氯农药、有机磷农药、挥发性有机物、半挥发有机物、营养元素以及重金属元素等检测方面的具体应用路径,旨在为提升饮用水水质检测的准确性与可靠性提供理论支持与实践指导。

**[关键词]** 饮用水; 水质检测; 气相色谱

中图分类号: S959 文献标识码: A

## Application of gas chromatography in drinking water quality detection

Yimeng Chang

Langfang Hydrology Survey and Research Center, Hebei Province

**[Abstract]** Urban water supply is an important part of urban infrastructure. The development level of urban water supply is an important symbol of urban modernization degree, and also an important guarantee of urban sustainable development. This paper discusses the application of gas chromatography technology in the field of drinking water quality detection, demonstrate its basic principle and main advantages, a comprehensive analysis of the organic chlorine pesticides in drinking water, organic phosphorus pesticides, volatile organic compounds, volatile organic compounds, nutrients and heavy metal elements detection specific application path, aims to improve the accuracy and reliability of drinking water quality detection to provide theoretical support and practical guidance.

**[Key words]** drinking water; water quality detection; gas chromatography

### 前言

气相色谱技术作为一种强大的分离分析技术,在饮用水水质检测中发挥着越来越重要的作用。它能够对饮用水中的多种痕量物质进行精确分离和定量分析,为水质评估提供关键数据。深入研究气相色谱技术在饮用水水质检测中的应用,对于完善饮用水检测体系、提高检测水平具有深远意义。

### 1 气相色谱技术概述

#### 1.1 气相色谱技术基本原理

气相色谱技术基于不同物质在固定相和流动相之间的分配系数差异实现分离。流动相通常为惰性气体,如氮气、氦气等,称为载气。样品被注入载气中,随着载气进入装有固定相的色谱柱<sup>[1]</sup>。在色谱柱中,不同的组分在固定相和流动相之间不断进行分配。由于各组分的分配系数不同,它们在色谱柱中的移动速度也不同,从而实现分离,分离后的组分依次从色谱柱流出,进入检测器。检测器将组分的浓度或质量信号转化为电信号,经数据处理系统记录并分析,得到色谱图。通过色谱图中各峰的保

留时间和峰面积等信息,可以对样品中的组分进行定性和定量分析。

#### 1.2 气相色谱技术主要优势

##### 1.2.1 分离率高

气相色谱技术能够对复杂混合物中的众多组分进行高效分离。现代气相色谱柱的理论塔板数可高达数千甚至数万,能够将性质极为相近的化合物有效分离。例如,在分析饮用水中多种有机污染物的混合物时,气相色谱可以清晰地将不同结构和性质的有机氯农药、有机磷农药等逐一分离,为后续的准确检测提供了基础。高分离率使得对饮用水中痕量、多组分污染物的检测成为可能,极大地提高了检测的准确性和可靠性。

##### 1.2.2 灵活性强

气相色谱技术具有很强的灵活性,可通过选择不同类型的色谱柱、载气以及调整操作条件来适应各种样品的分析需求。例如,对于极性较强的化合物,可以选择极性色谱柱,增强其与固定相的相互作用,提高分离效果;对于高沸点的物质,可以采用

程序升温的方式,使不同沸点的组分在合适的温度下依次流出并得到分离。此外,气相色谱还可以与多种检测器联用,如火焰离子化检测器(FID)、电子捕获检测器(ECD)、质谱检测器(MS)等,根据检测目标物的性质选择合适的检测器,进一步提高检测的选择性和灵敏度。

### 1.2.3 适应性好

气相色谱技术对样品的适应性广泛,无论是挥发性的有机化合物,还是一些半挥发性的物质,甚至部分可转化为挥发性衍生物的非挥发性物质,都能够进行有效的分析。在饮用水检测中,它可以检测水中常见的苯、甲苯、二甲苯等挥发性有机物,也能检测多环芳烃、酚类等半挥发有机物。同时,通过适当的样品前处理方法,如固相萃取、顶空进样等,气相色谱能够准确分析饮用水中的痕量污染物,即使在复杂的基体环境下也能实现高灵敏度的检测。

## 2 气相色谱法在饮用水水质检测中的应用路径

### 2.1 有机氯农药检测

有机氯农药曾经在农业生产中广泛使用,其化学性质稳定,在环境中残留时间长,容易通过各种途径进入饮用水源。气相色谱法是检测饮用水中有机氯农药的常用方法。通常采用电子捕获检测器(ECD)与气相色谱联用,因为有机氯农药具有较强的电负性,ECD对其具有极高的灵敏度。在检测过程中,通过液-液萃取或固相萃取等方法对水样中的有机氯农药进行富集和分离,将处理后的样品注入气相色谱仪<sup>[2]</sup>。不同种类的有机氯农药在色谱柱中得到分离,根据其在ECD上产生的特征响应峰,通过与标准物质的保留时间和峰面积对比,实现定性和定量分析。例如,检测饮用水中的六六六(BHC)和滴滴涕(DDT)等有机氯农药,气相色谱-ECD法能够准确检测到痕量水平,确保饮用水中此类农药的含量符合国家标准。

### 2.2 有机磷农药检测

有机磷农药在农业和园艺领域应用广泛,部分有机磷农药具有较高的毒性。气相色谱法同样适用于饮用水中有机磷农药的检测。一般采用火焰光度检测器(FPD)与气相色谱联用,FPD对含磷化合物具有选择性响应。水样经过合适的前处理,如固相微萃取或液-液微萃取,将有机磷农药从水样中提取出来并浓缩。注入气相色谱仪后,有机磷农药在色谱柱中分离,在FPD上产生特征信号。通过与标准曲线对比,可以准确测定饮用水中有机磷农药的含量<sup>[3]</sup>。常见的敌敌畏、乐果等有机磷农药,通过气相色谱-FPD法实现高灵敏度检测,为保障饮用水安全提供重要数据。

### 2.3 挥发性有机物检测

饮用水中的挥发性有机物(VOCs)来源广泛,包括工业排放、石油化工污染以及消毒副产物等。气相色谱法在检测挥发性有机物方面具有显著优势。常用的检测方法有顶空气相色谱法和吹扫捕集气相色谱法。顶空气相色谱法是将水样置于密闭的顶空瓶中,在一定温度下达到气液平衡,取顶部气体注入气相色谱仪进行分析。吹扫捕集气相色谱法则是通过惰性气体吹扫水样,

将挥发性有机物吹出并被捕集管吸附,加热解吸,将解析出的有机物注入气相色谱仪。这两种方法都能有效避免水样中基体成分的干扰,结合火焰离子化检测器(FID)或质谱检测器(MS),可以准确检测出饮用水中三氯甲烷、四氯化碳、苯系物等多种挥发性有机物,确保饮用水中挥发性有机物的含量在安全范围内。

### 2.4 半挥发有机物检测

半挥发有机物(SVOCs)在饮用水中也时有检出,如多环芳烃、酚类、邻苯二甲酸酯类等。这些物质具有潜在的致癌、致畸和致突变性。气相色谱法可用于检测饮用水中的半挥发有机物。通常需要对水样进行固相萃取等前处理,以富集和净化目标物。然后将处理后的样品注入配备质谱检测器(MS)的气相色谱仪。气相色谱实现对不同半挥发有机物的分离,质谱则提供准确的定性和定量信息。通过高分辨率质谱的选择离子监测模式(SIM),可以有效提高检测的灵敏度和选择性,准确测定饮用水中痕量的半挥发有机物,为评估饮用水的潜在风险提供依据。

### 2.5 营养元素检测

虽然气相色谱法主要用于检测有机化合物,但通过一些衍生化方法,也可以用于检测饮用水中的某些营养元素。以铵态氮检测为例,其技术实现过程较为精细。首先是衍生化试剂的选择,通常选用次氯酸钠和水杨酸钠的混合溶液作为反应试剂。在特定的反应条件下,水样中的铵离子与该混合试剂发生反应。具体反应过程为:在碱性环境中,铵离子先与次氯酸钠反应生成氯胺,氯胺再与水杨酸钠进一步反应,生成具有挥发性的靛酚蓝衍生物。此反应需严格控制反应温度在37℃左右,反应时间约为30分钟,以保证反应充分进行。完成衍生化反应后,将含有挥发性衍生物的水样进行进样操作。若采用顶空进样方式,需将水样置于密封的顶空瓶中,在一定温度(如60℃)下平衡一段时间(约20分钟),使挥发性衍生物在气液两相中达到平衡状态。此时,取顶空瓶上部的气体注入气相色谱仪。若选择直接进样,则需借助微量注射器准确吸取一定体积(如1 μL)的反应后水样,直接注入气相色谱仪的进样口。在气相色谱仪的参数设置上,选用合适的色谱柱至关重要。一般会选择中等极性的毛细管色谱柱,如DB-1701色谱柱,其规格为30m×0.25mm×0.25 μm。载气通常选用氮气,流速控制在1.0mL/min左右。进样口温度设置为250℃,以确保衍生物能够迅速气化进入色谱柱。检测器方面,可选用氮磷检测器(NPD),因其对含氮化合物具有较高的选择性和灵敏度。NPD的温度设置为300℃,氢气流量为3.0mL/min,空气流量为100mL/min。通过这些条件的优化,能够实现对饮用水中铵态氮的高效分离与准确检测,根据色谱峰的保留时间和峰面积,与标准曲线对比,从而精确测定铵态氮的含量。

### 2.6 重金属元素检测

对于饮用水中重金属元素汞的检测,采用气相色谱-冷原子荧光光谱联用技术(GC-CVAFS)时,技术实现步骤如下:首先进行水样前处理,在水样中加入适量的盐酸羟胺溶液,以还原水样中可能存在的氧化性物质,避免其干扰后续反应。然后加入适量的硼氢化钾溶液,将水样中的汞离子还原为汞原子,上述反应需在

酸性条件下进行,工作人员通常将溶液的pH值保持在2-3之间。还原生成的汞原子与四乙基硼酸钠试剂发生衍生化反应,生成挥发性的二乙基汞。反应条件需严格控制,反应温度在室温下进行,反应时间约为15分钟。衍生化反应完成后,将含有二乙基汞的水样通过气相色谱仪进行分离。气相色谱部分选用非极性的毛细管色谱柱,例如,DB-5色谱柱,规格为30m×0.32mm×0.25 μm。载气采用高纯氮气,流速设置为1.5mL/min。进样口温度设置为200℃,确保二乙基汞能够迅速气化进入色谱柱。通过程序升温的方式实现对二乙基汞的有效分离,初始温度设置为50℃,保持2分钟,然后以10℃/min的速率升温至250℃,并保持5分钟。分离后的二乙基汞进入冷原子荧光光谱检测器进行检测。在冷原子荧光光谱仪中,通过汞空心阴极灯发射特定波长的光,激发二乙基汞分解产生的汞原子,使其发射出荧光。检测系统通过检测荧光强度来确定汞的含量。冷原子荧光光谱仪的光电倍增管负高压设置为300V,灯电流设置为10mA,以保证检测的高灵敏度。通过与标准汞溶液的荧光强度对比,绘制标准曲线,从而准确测定饮用水中痕量汞的含量。这种联用技术利用气相色谱的高效分离能力和冷原子荧光光谱的高灵敏度,有效避免了水样基体的干扰,极大地提高了检测的准确性和可靠性,为饮用水中重金属汞的检测提供了一种有效的补充手段。

### 3 气相色谱法在饮用水水质检测中注意事项

#### 3.1 做好基线波动控制

基线波动是气相色谱分析中常见的问题,会影响检测结果的准确性和精密度。在饮用水水质检测中,基线波动可能由多种因素引起,加载气纯度不足、进样口污染、色谱柱老化等。为了控制基线波动,首先要确保载气的纯度,使用高质量的载气净化器去除载气中的杂质。定期清洁进样口,更换进样垫和衬管,防止进样口污染。同时,要根据色谱柱的使用寿命和使用情况,及时更换老化的色谱柱。在分析过程中,采用程序升温时,要合理设置升温速率和平衡时间,避免因温度变化过快导致基线波动。通过对这些因素的有效控制,可以获得稳定的基线,提高检测结果的可靠性。

#### 3.2 应对色谱柱氧化问题

色谱柱是气相色谱仪的核心部件,其性能直接影响分离效果。在饮用水检测中,由于水样中可能含有一些氧化性物质,如

溶解氧、次氯酸等,容易导致色谱柱氧化,缩短色谱柱的使用寿命。为了应对色谱柱氧化问题,在样品前处理过程中,可以采用适当的方法去除水样中的氧化性物质,如加入抗坏血酸等还原剂。同时,在使用气相色谱仪时,要确保载气中不含氧气,可通过安装脱氧管等装置去除载气中的微量氧气。

#### 3.3 降低无机物干扰

饮用水中含有各种无机物,如无机盐、金属离子等,这些无机物可能会对气相色谱分析产生干扰。无机物可能会在进样口或色谱柱中沉积,影响柱效和分离效果,某些无机物可能会与目标分析物发生化学反应,导致检测结果不准确。为了降低无机物干扰,在样品前处理阶段,可以采用过滤、离子交换等方法去除水样中的大部分无机物。对于一些难以去除的无机物,可以通过优化色谱条件。在使用检测器时,要根据目标物和干扰物的性质,选择合适的检测模式,提高检测的选择性,降低无机物干扰对检测结果的影响。

### 4 结语

气相色谱技术凭借其独特的分离原理和显著的技术优势,在饮用水水质检测中展现出了广泛的应用前景。通过对有机氯农药、有机磷农药、挥发性有机物、半挥发有机物、营养元素以及重金属元素等多方面的检测应用,为保障饮用水安全提供了有力的技术支持。然而,在实际应用过程中,需要充分注意基线波动控制、色谱柱氧化问题应对以及降低无机物干扰等事项,以确保检测结果的准确性和可靠性。

#### [参考文献]

- [1]王雪.气相色谱技术在饮用水水质检测中的应用研究[J].水电水利,2023(7):131-133.
- [2]胡亚辉.生活饮用水水质检测中气相色谱技术运用分析[J].中外食品工业,2024(12):99-102.
- [3]安建华,韦红映,李嘉琦.气相色谱-质谱联用技术检测水质中呋喃含量[J].山西化工,2024(3):44-48.

#### 作者简介:

畅一萌(1988-),女,汉族,河北省廊坊市人,河北省廊坊水文勘测研究中心,工程师,硕士研究生,研究方向:水土资源与水环境。