

# 生活饮用水理化检验方法探讨

周旭 喻薇 杨舒捷 董珂宇

宁波城市供水水质监测站有限公司 浙江 宁波 315000

**摘要:** 生活饮用水理化检验对保障水质安全意义重大。本文详细阐述核心指标分类,涵盖常规、微量有害及消毒副产物相关指标。介绍基础检验方法体系,包括感官、无机离子及有机物检验方法。探讨专项检验技术,如微量重金属、痕量有机物和消毒副产物检验技术。分析检验方法优化方向,涉及前处理、检测灵敏度与特异性、快速检测等方面,为提升饮用水检验水平提供参考。

**关键词:** 生活饮用水;理化检验;核心指标;检验方法;优化方向

引言:水是生命之源,生活饮用水的质量直接关系到人们的身体健康。随着工业发展、环境污染加剧以及人们对健康重视程度的提高,对生活饮用水理化检验的要求也日益严格。准确的理化检验能够及时发现水中存在的各种有害物质,为水资源的合理利用、供水系统的优化以及饮用水安全保障提供科学依据。因此,深入探讨生活饮用水理化检验方法具有重要的现实意义。

## 1 生活饮用水理化检验的核心指标分类

### 1.1 常规理化指标

常规理化指标作为衡量生活饮用水基本物理化学特性的核心参数,包含色度、浑浊度、臭和味、pH值、电导率、溶解性总固体及硬度等项目。其中,色度正常值不应超15度,浑浊度通常低于1NTU,二者共同表征水的感官性状优劣<sup>[1]</sup>。这些指标的精准检测不仅是水质评价的基础环节,更直接决定居民对饮用水的直观接受度,并为后续深度分析提供可靠依据。生活饮用水pH值一般处于6.5至8.5区间,该范围对金属离子迁移转化及消毒工艺效能具有关键调控作用。清洁水体电导率多在50至1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 范围内波动,与溶解性总固体指标形成互补验证关系,正常水样中溶解性总固体含量多介于300至1000mg/L。总硬度以碳酸钙计通常不超过450mg/L,直接反映水中钙镁离子总量水平。上述指标体系共同构建起饮用水安全评价的量化框架,为供水系统优化运行及水质动态监管提供不可或缺的数据支撑。

### 1.2 微量有害理化指标

微量有害理化指标聚焦水中可能危害人体健康的低浓度污染物,包括重金属离子(如铅、汞、镉、砷)、氟化物、硝酸盐及亚硝酸盐等。重金属检测采用原子吸收光谱法或电感耦合等离子体质谱法,通过基体改进剂与碰撞反应池技术消除干扰,实现痕量级定量分析,生活饮用水铅含量限值为0.01mg/L,汞含量限值为0.001mg/L,镉

含量限值为0.005mg/L,砷含量限值为0.01mg/L。氟化物测定多选用离子选择电极法,利用氟离子选择性膜电位响应特性进行检测,生活饮用水氟化物含量一般在0.5–1.0mg/L为适宜范围,上限为1.5mg/L。硝酸盐与亚硝酸盐检测采用分光光度法,通过重氮化-偶合反应生成有色化合物,在特定波长下测定吸光度,生活饮用水硝酸盐含量限值为10mg/L(以氮计),亚硝酸盐含量限值为0.001mg/L(以氮计)。这类指标虽含量较低,但长期摄入可能引发慢性中毒或代谢紊乱,需建立严格的监测体系确保饮用水安全。

### 1.3 消毒副产物相关理化指标

消毒副产物相关理化指标针对饮用水消毒过程中产生的有害物质,主要包括三卤甲烷、卤乙酸、亚氯酸盐及溴酸盐等。三卤甲烷检测采用顶空气相色谱法,通过优化平衡温度在50–70 $^{\circ}\text{C}$ ,时间30–60分钟提高挥发性组分萃取效率,生活饮用水三卤甲烷总量限值为0.06mg/L。卤乙酸测定需进行酯化衍生化处理,结合电子捕获检测器实现高灵敏度分析,生活饮用水卤乙酸总量限值为0.06mg/L。亚氯酸盐与溴酸盐检测多采用离子色谱法,利用离子交换柱分离与电导检测器定量,生活饮用水亚氯酸盐含量限值为0.7mg/L,溴酸盐含量限值为0.01mg/L。这类指标的形成与消毒工艺、水源水质密切相关,其浓度控制是保障饮用水化学安全性的重要环节。

## 2 基础理化检验方法体系

### 2.1 感官性状与物理指标检验方法

感官性状与物理指标检验聚焦饮用水基本物理特性及直观属性。色度检测用铂-钴标准比色法,与标准色阶对比量化水中呈色物质浓度,基于朗伯-比尔定律,利用可见光区455nm吸光度差异定量分析<sup>[2]</sup>。浑浊度测定以福尔马肼为标准,用散射光法或透射光法测悬浮颗粒对光线的散射或吸收,散射光法灵敏度高成主流,检测波长

860nm。臭和味评价由感官分析员嗅辨与味觉判定,需建立标准化嗅觉阈值测定流程与味觉强度分级体系,确保结果客观。pH值检测依赖玻璃电极电位法,基于氢离子选择性响应原理,测量电极电位与标准缓冲溶液对比精确测定,标准缓冲溶液pH值选4.00、6.86、9.18。电导率测量用交流电桥法或电极法,通过测定溶液离子导电能力反映总溶解固体含量,检测频率1000Hz,需定期校准电极常数消除误差。溶解性总固体检测用恒重法,严格控制干燥温度103-105℃、时间1-2小时,避免挥发性物质损失致结果偏差。硬度测定分总硬度与碳酸盐硬度,主要用EDTA滴定法,利用金属指示剂颜色突变判定终点,反映水中钙镁离子总量,滴定终点pH值控制在10左右。

### 2.2 常见无机离子检验方法

常见无机离子检验涵盖金属与非金属元素分析。重金属检测多用原子吸收光谱法,通过空心阴极灯发射特征谱线,测量原子蒸气对特定波长光吸收程度定量,如铅检测波长283.3nm,汞检测波长253.7nm,电感耦合等离子体质谱法因多元素同时检测能力成痕量分析首选,可同时检测元素达70-80种。非金属离子检测中,氟化物测定用离子选择电极法,基于氟离子选择性膜电位响应特性,通过能斯特方程计算浓度,电极斜率应在58-60mV/pH单位。氯离子检测常用硝酸银滴定法,以铬酸钾为指示剂,通过沉淀颜色变化判定终点,铬酸钾浓度一般50g/L。硫酸盐测定用重量法或比浊法,重量法通过生成硫酸钡沉淀称重定量,沉淀在800-900℃灼烧30-60分钟,比浊法利用硫酸根与钡离子生成微粒的散射光强度分析,检测波长420nm。硝酸盐与亚硝酸盐检测用分光光度法,通过重氮化-偶合反应生成有色化合物,在特定波长下测定吸光度,硝酸盐检测波长220nm和275nm,亚硝酸盐检测波长540nm,需严格控制反应条件提高选择性。

### 2.3 常规有机物检验方法

常规有机物检验针对水中挥发性与半挥发性化合物。挥发性有机物检测采用顶空气相色谱法,通过加热使样品中挥发性组分逸出至气相,经色谱柱分离后由检测器定量,需优化平衡温度与时间参数以提高萃取效率。半挥发性有机物检测多采用固相萃取技术,通过吸附剂选择性富集目标物,洗脱后进行色谱分析,需根据化合物极性选择合适填料。液液萃取法利用有机溶剂对目标物的溶解性差异实现分离,需控制萃取剂用量与pH值以减少乳化现象。消毒副产物检测中,三卤甲烷分析采用毛细管柱气相色谱法,卤乙酸检测需进行酯化衍生化处理结合电子捕获检测器分析。多环芳烃检测采用高效液相色谱法,通过反相色谱柱分离与荧光检测器定量,需

优化流动相组成以提高分离度。

## 3 专项理化检验技术

### 3.1 微量重金属检验技术

微量重金属检验聚焦水中铅、汞、镉、砷等低浓度有害元素,需采用高灵敏度分析方法实现痕量级检测。原子吸收光谱法通过空心阴极灯发射特征谱线,测量原子蒸气对特定波长光的吸收程度,石墨炉原子化器因高温雾化能力成为痕量重金属检测首选<sup>[3]</sup>。电感耦合等离子体质谱法利用高温等离子体使样品离子化,通过质量分析器分离不同质荷比离子,结合碰撞反应池技术消除多原子离子干扰,实现多元素同时测定,检测限可达纳克每升级。X射线荧光光谱法通过激发样品中原子内层电子产生特征X射线,根据荧光能量与强度进行定性定量分析,适用于现场快速筛查。对于砷元素检测,氢化物发生-原子荧光光谱法通过化学还原生成气态氢化物,显著提高检测灵敏度与选择性。

### 3.2 痕量有机物检验技术

痕量有机物检验针对水中挥发性与半挥发性化合物,需解决样品前处理与仪器检测灵敏度难题。固相微萃取技术通过涂覆特定吸附剂的纤维头直接萃取水样中有机物,无需有机溶剂且集采样、富集、进样于一体,与气相色谱-质谱联用技术结合可实现0.001-0.01ng/L级检测。超临界流体萃取利用超临界二氧化碳兼具气体扩散性与液体溶解性的特点,通过调节温度在31-100℃、压力在7.38-100MPa实现目标物选择性萃取,适用于多环芳烃等非极性化合物分析。液相色谱-串联质谱法通过高压液相色谱分离复杂基质中有机物,经电喷雾离子化后进入质谱仪,通过多级质谱扫描获得结构信息,显著提高定性定量准确性,成为农药残留、药物代谢物等痕量有机物检测核心手段,扫描次数一般在3-5次。

### 3.3 消毒副产物检验技术

消毒副产物检验针对氯消毒过程中生成的三卤甲烷、卤乙酸等有害物质,需建立特异性检测方法。顶空气相色谱法通过加热使样品中挥发性消毒副产物逸出至气相,经毛细管色谱柱分离后由电子捕获检测器定量,需优化平衡温度在50-70℃、时间30-60分钟参数以提高萃取效率。卤乙酸检测需进行酯化衍生化处理,将羧基转化为易挥发的酯类化合物,结合气相色谱-质谱联用技术实现高灵敏度分析,衍生化反应时间一般在30-60分钟。液相色谱-电喷雾串联质谱法通过反相色谱柱分离卤乙酸同系物,经负离子模式电喷雾离子化后进行多级质谱扫描,可同时测定九种卤乙酸,检测限低于0.001mg/L。对于亚硝酸盐与溴酸盐检测,离子色谱法利用离子交换柱分离

阴离子,结合电导检测器定量,通过梯度淋洗程序提高复杂基质中目标物分离度,淋洗时间一般在20-40分钟。

#### 4 理化检验方法的优化方向

##### 4.1 前处理方法的简化与高效化

前处理环节作为理化检验流程的关键步骤,直接影响检测效率与结果准确性。传统固相萃取技术通过优化吸附剂材料与洗脱条件,可实现目标物选择性富集与基质干扰去除<sup>[4]</sup>。近年来,磁性纳米材料凭借超顺磁性与高比表面积特性,在外加磁场作用下快速完成固液分离,显著缩短样品处理时间。微萃取技术通过缩小萃取相体积提升富集倍数,如分散液液微萃取利用三元溶剂体系形成微滴,在涡旋混合中实现目标物高效萃取。自动化前处理平台集成样品转移、稀释、过滤等功能模块,通过程序控制减少人工操作误差,提升批处理能力。绿色化学理念推动前处理溶剂替代研究,离子液体因低挥发性与高溶解性成为有机溶剂理想替代品,超临界流体萃取利用二氧化碳临界特性实现无溶剂化处理,均有效降低环境污染风险。

##### 4.2 检测灵敏度与特异性提升路径

检测灵敏度提升依赖仪器性能优化与信号增强策略。高分辨质谱技术通过提高质量轴分辨率与准确度,可区分质量数差异小于0.001Da的化合物,结合同位素内标法实现痕量物质准确定量。表面增强拉曼光谱利用金属纳米结构表面等离子体共振效应,将拉曼信号强度提升数个数量级,配合便携式光谱仪满足现场快速检测需求。化学衍生化技术通过特异性反应引入荧光基团或电活性基团,显著提高目标物检测信号,如柱前衍生化高效液相色谱法用于氨基酸分析,检测限较直接检测降低两个数量级。多维色谱联用技术通过不同分离机制色谱柱串联,实现复杂基质中目标物高效分离,气相色谱-质谱-质谱三重四极杆系统通过碰撞诱导解离获得结构信息,消除假阳性结果。

##### 4.3 快速检测方法的研发与应用

快速检测技术聚焦现场实时监测需求,纸基微流控芯片通过微通道设计实现样品自动分流与反应,结合智能手机成像系统完成颜色或荧光信号读取,30分钟内可完成重金属离子定量分析。电化学传感器利用功能化纳米材料修饰电极表面,通过目标物特异性识别引发电位或电流变化,便携式设备可实现硝酸盐、亚硝酸盐等污染物现场检测。生物传感器整合酶抑制反应或抗原抗体识别机制,将生物信号转化为可测电信号,如有机磷农药检测基于乙酰胆碱酯酶活性抑制原理,检测时间缩短至15分钟。光谱快速筛查技术通过建立目标物特征光谱数据库,结合化学计量学算法实现未知样品快速定性,近红外光谱技术已应用于水质有机污染程度分级评估,单次检测耗时不足1分钟。

#### 结束语

生活饮用水理化检验方法涵盖多方面内容,从核心指标分类到基础检验方法,再到专项检验技术与优化方向,各环节紧密相连。通过不断优化前处理方法、提升检测灵敏度、研发快速检测技术,能更精准、高效地检测饮用水质量。这有助于及时发现和处理水质问题,保障居民饮用水的安全与健康,为饮用水安全保障工作提供坚实的技术基础。

#### 参考文献

- [1]孙麟.生活饮用水水质理化指标检测结果分析[J].现代食品,2023,29(2):211-213.
- [2]刘宝宝,高姣姣.关于生活饮用水水质理化指标检测的相关探讨[J].水电水利,2024,8(3):151-153.
- [3]傅雅.武义县饮用水源水质理化和微生物状况调查分析[J].中国地方病防治杂志,2023,38(5):409-410.
- [4]唐秀娉.六安市生活饮用水中稀土元素含量及分布状况[J].环境与健康杂志,2025,42(8):735-739.