

吴若骏. 基于空白值控制与关键操作参数优化的的高锰酸盐指数(酸性法)测定方法[J]. 净水技术, 2026, 45(7): 199–204.

Wu R J. Determination of permanganate index (acid method) via blank value control and optimization of key operating parameters[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(7): 199–204.

基于空白值控制与关键操作参数优化的的高锰酸盐指数(酸性法)测定方法

吴若骏*

(上海浦东新区自来水有限公司, 上海 201299)

摘 要 【目的】为提高高锰酸盐指数(酸性法)在出厂水等低浓度水样测定中的准确度和精密度, 本文针对标准方法《生活饮用水标准检验方法 第7部分: 有机物综合指标》(GB/T 5750.7—2023)中影响结果的关键操作环节进行量化分析与优化。【方法】首先, 依据国标方法设计系统全过程空白试验, 量化试剂本底贡献及存放时间对空白值的影响; 其次, 通过试验系统考察沸腾时间与滴定温度对测定结果的影响及交互作用。【结果】最终, 确定测定误差来源于试剂空白、操作参数波动及终点判断主观性的叠加; 硫酸试剂造成的系统全过程空白约为 $1/3$, 这是测定误差的重要来源之一, 且存放时间延长可使空白值显著升高, 提示试剂宜现配现用; 滴定温度 ($75\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$)、沸腾时间 [$(30\pm 0.5)\text{ min}$] 是影响测定的关键控制点并有交互作用 (沸腾时间 $F=97.68$, 其与滴定温度的交互效应 $F=15.61$, 均 $p<0.001$), 表明两因素须协同精确控制方可保证测定精度。【结论】经地表水、出厂水及质控样品等多类实际水样的对比验证, 根据以上结果所建立的“低系统空白值-关键操作参数协同控制”优化操作程序可以将实际水样测定的相对标准偏差 (RSD) 优化至 2.0% 以内, 且可提升测定准确度。本文从水质检测的实际应用角度出发, 重点关注在一线操作中易被忽视的因素, 为保障出厂水等低浓度水样的监测数据具有足够的可靠性和可比性提供了解决方案。

关键词 高锰酸盐指数(酸性法); 空白值; 操作参数; 准确性; 精密度; 优化流程; 水质检测

中图分类号: X830.2 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2026)07-0199-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.07.023

Determination of Permanganate Index (Acid Method) via Blank Value Control and Optimization of Key Operating Parameters

Wu Ruojun*

(Shanghai Pudong New Area Water Supply Co., Ltd., Shanghai 201299, China)

Abstract [Objective] In order to improve the accuracy of permanganate index (acid method) in the determination of low concentration water samples such as finished water, this paper quantitatively analyzes and optimizes the key operation links affecting the result in the standard method of *Standard Examination Method for Drinking Water—Part 7: Aggregate Organic Indices* (GB/T 5750.7—2023). [Methods] Firstly, according to the national standard method, the whole process blank experiment of the system was designed to quantify the background contribution of the reagent and the effect of its storage time on the blank value. Secondly, the influence and interaction of boiling time and titration temperature on the determination result were investigated by experimental system. [Results] Finally, it was determined that the measurement error comes from the superposition effect of reagent blank, fluctuation of operating parameters and subjectivity of endpoint judgment: the whole process blank of the system caused by sulfuric acid reagent was about $1/3$, as one of the major sources of measurement error, and prolonged storage could significantly increase the blank value, suggesting the reagent should be freshly prepared; the titration temperature ($75\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$) and boiling time [$(30\pm 0.5)\text{ min}$] were the key control points affecting the determination and had interaction (boiling time $F=97.68$, and its interaction with titration temperature $F=15.61$, both $p<0.001$), indicating that the two factors must be precisely co-controlled to ensure measurement accuracy.

[收稿日期] 2025-12-27

[通信作者] 吴若骏(1993—), 男, 主要从事制水工艺生产和实验室水质检测管理等工作, E-mail: johnsonwrj@qq.com。

[**Conclusion**] Validated by comparative tests with multiple types of actual water samples including surface water, finished water and quality control samples, the optimized operating procedure of "low system blank value-co-control of key operating parameters" established based on the above result can optimize the relative standard deviation (RSD) of actual water sample determination to less than 2.0%, and improve the accuracy of determination. From the practical perspective of water quality testing, this paper focuses on factors easily overlooked in routine operations, thereby providing a solution to ensure that the monitoring data of low concentration water samples such as finished water have sufficient reliability and comparability.

Keywords permanganate index(acid method); blank value; operation parameter; accuracy; precision; optimization process; water quality determination

高锰酸盐指数是一个代表有机物和可氧化无机物总量的综合性指标,而在酸性条件下的测定方法是我国《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[1]和《生活饮用水标准检验方法 第7部分:有机物综合指标》(GB/T 5750.7—2023)^[2]中规定的高锰酸盐指数测定方法。这种方法常用来对水样进行定量检测,但结果易出现差异性。不同试验之间,甚至同一试验内都可能存在较大的波动。因此,该方法的重现性问题一直是水质检测中的技术难点^[3]。

现有研究^[4-6]多集中于试剂纯度、终点判断等单因素的定性探讨,尚存在2个方面的不足:一是缺乏对空白值具体来源的系统性量化解析;二是对沸腾时间、滴定温度等关键操作参数的允许波动范围及其交互作用,缺乏基于严格试验的边界界定。对于出厂水高锰酸盐指数通常低于2.0 mg/L的制水行业而言,微小的绝对误差就可能影响水质达标的判定。因此,提升该方法在低浓度区间的测定准确性与结果可比性具有紧迫的现实意义。

本文的主要目的是通过严谨试验,量化分析标准方法中易被忽略的误差来源(如试剂空白)和易波动的操作参数(如沸腾时间与滴定温度)的影响,从而形成一套具有可操作性、可溯源性的细化作业程序,以辅助试验人员更稳定地执行国家标准方法,保障水质检测数据的质量。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

试剂:试验所用硫酸、高锰酸钾及草酸钠等试剂均为优级纯。试验用水为使用 Milli-Q EQ7008 超纯水机系统新鲜制备的超纯水(电阻率 ≥ 18.2 M Ω ·cm)。主要溶液配制如下:高锰酸钾标准溶液(0.010 02 mol/L)与草酸钠标准溶液(0.010 04 mol/L)均为依据国标方法配制标定的市售标液,并于棕色试剂瓶、避光条件下保存。质控样品采用了

环境标准样品研究所提供的高锰酸盐指数质控样品[GSB 07-3162-2014;批号:2031160;标准值:(3.20 $\pm$ 0.19) mg/L,有效期至2030年10月30日]。

仪器:试验使用的主要仪器包括:Milli-Q EQ7008 超纯水机系统、Mettler WNB 6 孔精密恒温水浴锅(控温精度 ± 0.1 °C)、经法定计量机构检定的25 mL 酸式滴定管(A级),以及精密温度计等。

1.2 试验设计

本文依次对空白值、关键操作参数进行系统研究,并最终验证优化流程。

1.2.1 空白值的来源浅析及其对测定结果的定量影响

(1)空白值来源的探索性尝试

空白 A(探索性尝试):本试验为非国标方法的对照试验,仅用于量化硫酸试剂贡献,在不加入硫酸的情况下测得分析全过程(水、试剂、消解及滴定)的本底值。其操作是准确量取100.0 mL 新鲜超纯水置于锥形瓶中,加入5.0 mL 超纯水(代替硫酸)和10.00 mL 高锰酸钾标准溶液(0.010 02 mol/L),其余步骤均按《生活饮用水标准检验方法 第7部分:有机物综合指标》(GB/T 5750.7—2023)^[2]中有机物综合指标进行操作:在沸水浴中准确消解30 min,取出后加入10.00 mL 草酸钠标准溶液(0.010 04 mol/L)于75~80 °C下以高锰酸钾标准溶液滴定至稳定的微红色即为终点。平行测定12次($n=12$)。

空白 B(系统全过程空白):采用国标方法,用于测定标准方法的完整系统空白(普通校正值),只是使用5.0 mL 超纯水改为5.0 mL (1+3) 硫酸($n=12$),配制方法为优级纯硫酸与蒸馏水按体积比例1:3混合,其余步骤完全一致。

空白 A 与空白 B 的唯一变量在于是否添加硫

酸。两者经历完全相同的热过程,因此其测定值之差($\Delta = \text{空白 B} - \text{空白 A}$)可直接归因于硫酸试剂及其在热消解过程中所引入的还原性杂质的总贡献。

(2)试剂稳定性评估:为近似模拟实际保存条件,将刚配好的(1+3)硫酸倒入玻璃瓶中,放置在室内有自然光条件的试验台上。于0、1、3个月时各取一部分配制好的硫酸溶液测试空白B值($n = 12$)。

1.2.2 关键操作参数的影响与其交互作用

采用双参数控制变量试验设计,固定其他条件,系统考察沸腾时间(25、30、35 min)与滴定温度(70、75、80、85 $^{\circ}\text{C}$)2个关键参数对测定结果的影响及其交互作用。以质量浓度为3.20 mg/L的高锰酸盐指数有证质控样品为测试对象,每个条件组合平行测定6次($n = 6$)。

1.2.3 优化流程对比验证

基于上述2.2.1小节和2.2.2小节的结论,制订优化操作流程,主要包括:①使用超纯水新鲜配制的硫酸溶液得到更低的系统全过程空白;②沸腾时间严格控制在(30.0 $\pm$ 0.5) min(自溶液全液面沸腾开始计时);③滴定温度稳定于75~80 $^{\circ}\text{C}$;④终点判定采用预加草酸钠返滴定法,滴定过程中将锥形瓶置于白色背景板上,滴定至溶液呈现稳定的微红色即为终点。

为验证优化流程的普适性,选取低本底超纯水、上述质控样品、典型地表水及出厂水4种水样,分别采用传统国标法与本文优化流程进行比对测定,每种水样平行测定12次($n = 12$)。

1.3 数据处理与统计分析

所有试验数据均使用SPSS 26.0^[7]软件进行统计分析,定量数据以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。采用方差分析(ANOVA)判断组间差异是否显著,即比较不同组别均值之间的差异是否大于随机波动。

组间变异:不同组别之间的差异,反映了试验处理的效果,例如优化方法相较于传统方法变异显著,说明优化方法对低浓度样品检测准确性有一定提高;若变异不显著,反映2种方法之间并无本质区别,但组内随机误差(精密度)仍可重点关注。

组内变异:同一组内部的差异,反映了随机误差,直接影响试验精密度。

通过组间差异与组内波动的对比,判断观测到的均值差异是否超出随机波动所能解释的范围。通

过比较组间变异与组内变异的比值 F ,可以判断组间差异是否显著。如果组间变异远大于组内变异,则说明各组之间的差异不太可能是随机造成的,从而认为各组均值存在显著差异。

引入这种统计学方法意在更好地说明空白值对最终结果的统计学影响以及水浴沸腾时间和滴定温度这两者是如何影响检测结果的。当积累的数据量越多,数据的显著性和可靠性会越强。通过这种统计学方法和大量日常工作的试验数据积累,亦可帮助改善实验室的质量控制。

统计学显著性所对应的 p 值低于0.05代表结果具有显著性;反之则不具有显著性。

2 结果与讨论

2.1 空白值的来源浅析及其对测定结果的定量影响

由表1可知,空白B(系统全过程空白)明显大于空白A(探索性尝试)(单因素ANOVA, $p < 0.001$),两者之差为0.077 5 mg/L,即硫酸试剂带入的净空白量占整个过程空白量的比例为34.8%,这表明即使使用优级纯硫酸试剂也带入了较多的空白值,如图1所示。本试验设计能够有效地将其纳入考虑范围,并定量给出其值;若在高锰酸盐指数 ≤ 2.0 mg/L时忽略该值会带来约3.1%的相对误差,这对结果的准确度有一定影响。

表1 硫酸试剂对系统空白值的贡献量化
(新配制试剂, $n = 12$)

Tab. 1 Contribution Quantification of Sulfuric Acid Reagent to the System Blank Values (New Reagent, $n = 12$)

空白类型	描述	消耗体积/mL	高锰酸盐指数/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
空白A	超纯水	0.145 0 $\pm$ 0.014 5	0.116 0 $\pm$ 0.011 6
空白B	(1+3)硫酸	0.222 5 $\pm$ 0.016 0	0.178 0 $\pm$ 0.012 8
差值 Δ	硫酸的净贡献	0.077 5 $\pm$ 0.021 6	0.062 0 $\pm$ 0.017 3

空白A(探索性尝试)与空白B(系统全过程空白)的唯一变量在于是否添加硫酸,两者在热过程、滴定条件上保持一致,其差值可归因于硫酸试剂及其杂质。在整个测定过程中,硫酸不仅提供试验所需的酸性条件^[8],硫酸本身可能还带有微量还原性杂质(SO_3^{2-} 等),这就构成了高锰酸钾溶液的初始消耗量。如果忽略了这部分空白的消耗量,则必然会导致出现系统性偏高的现象。因此,要特别注意对高锰酸盐指数 ≤ 2.0 mg/L出厂水样的测定,不可忽

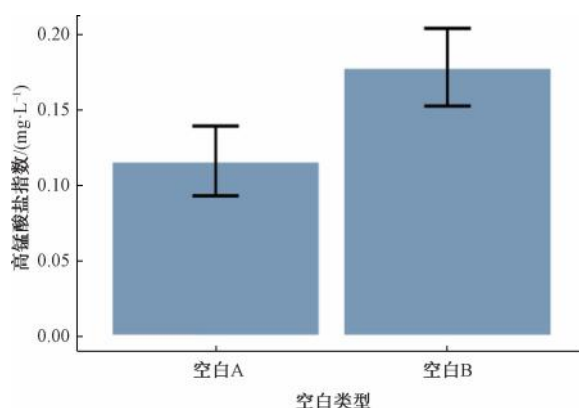


图1 空白A与B的高锰酸盐指数比较

Fig. 1 Comparison of Permanganate Index between Blank A and B

视这种低含量水样的空白贡献。

由表2可知,(1+3)硫酸溶液的空白值明显随着储存的时间而逐渐增加,这经单因素ANOVA检验证明($p<0.001$)。从试剂稳定性角度考虑,试剂空白值是一个容易忽略的重要因素,且每经过一定时间,空白值都会增加,如图2所示。(1+3)硫酸溶于容量瓶中放置3个月之后,空白值较初次配置相比上升了145.1%,可能是由于受到光照、空气中的氧气等多重因素共同作用造成的复杂的、缓慢的氧化反应。为保证空白值稳定,在源头处消除误差,应建立规范的试剂管理制度,(1+3)硫酸溶液尽量现用现配,使用时间不要超过1个月。此外,随着空白值的增大,平行测定结果的RSD会略有升高,这说明试剂不稳定可能引入了一些随机误差。

表2 硫酸储存时间与条件对空白值的影响
(空白B, $n=6$)

Tab. 2 Effect of Sulfuric Acid Storage Time and Conditions on Blank Values (Blank B, $n=6$)

储存时间	储存条件	空白值/(mg·L ⁻¹)	较0月增长率	RSD
0月	新配置	0.184 0±0.006 1	—	3.32%
1个月	自然光照	0.268 0±0.032 7	45.7%	12.20%
3个月	自然光照	0.451 0±0.031 5	145.1%	6.99%

根据上述分析,我们建议实验室把系统全过程空白的定期监控^[9]纳入实验室的常规质控工作中,并建立起试剂空白的质量控制图^[10]。要保持高锰酸盐指数测定结果的长期准确度和可比性,需从系统的全过程空白着手考虑。

2.2 关键操作参数的影响及其交互作用

沸腾时间与滴定温度对测定结果的独立及交互

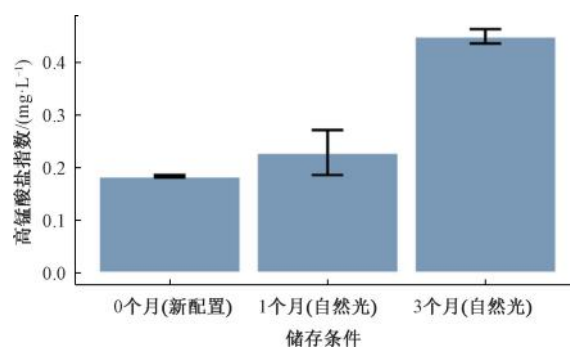


图2 储存时间与硫酸溶液高锰酸盐指数空白值的比较

Fig. 2 Comparison of Storage Time and Blank Value of Permanganate Index in Sulfuric Acid Solution

作用如表3所示。

表3 操作参数对质控样品(3.20 mg/L)测定结果的影响($n=6$)

Tab. 3 Effects of Operation Parameters on Determination Results of Quality Control Samples (3.20 mg/L) ($n=6$)

沸腾时间/min	滴定温度/℃	测定值/(mg·L ⁻¹)	RSD
25	80	2.92±0.085	2.91%
25	85	2.75±0.070	2.55%
30	70	3.28±0.089	2.71%
30	75	3.23±0.047	1.46%
30	80	3.19±0.044	1.38%
30	85	3.10±0.066	2.13%
35	80	3.46±0.095	2.75%
35	85	3.56±0.048	1.35%

由表3可知,沸腾时间是氧化程度的最主要影响因素($F=97.68$, $p<0.001$)。质控样品在沸腾25 min后,由于时间不够长而没有达到完全氧化,测定均值偏低;沸腾35 min后,可能产生超量的可被氧化组分,导致测定均值偏高,如图3所示。

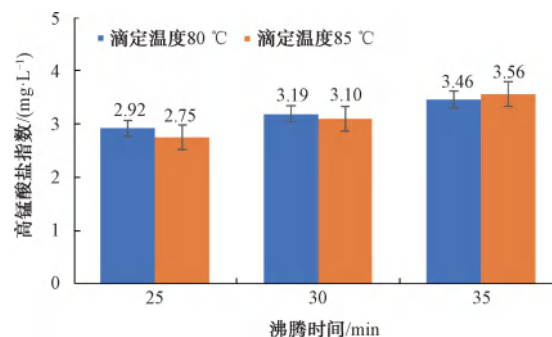


图3 沸腾时间、滴定温度对高锰酸盐指数的影响

Fig. 3 Effect of Boiling Time and Titration Temperature on Permanganate Index

滴定温度是影响方法精密度的重要因素 ($F = 2.26$, $p = 0.095$), 双因素方差分析得出, 主效应上温度对结果的影响是不显著的。当然这不意味着滴定温度不是一个关键因素, 尤其是在与沸腾时间因素交互作用明显时, 滴定温度的主效应可能被掩盖。 p 值较为接近 0.05 提示可能存在效应显著的趋势, 但考虑到溶液温度下降得较快, 滴定温度在实际操作中很难准确控制且会影响滴定终点的判断, 测定结果也很难统计分析, 所以本文没有对滴定温度作进一步分析。依据反应动力学的观点, 温度对结果的影响是符合阿伦尼乌斯定律的。当温度由 70 ℃ 上升到 80 ℃ 时, 其测定结果的 RSD 从原来的 2.71% 下降为 1.38%。滴定时温度越低, 滴定反应速率越慢, 终点颜色的变化也缓慢, 操作人员判断的时间窗口较大, 易带来较大的随机误差。当温度高于 85 ℃ 时则可能出现少量副反应, 作为基准物的草酸钠易产生热分解, 或高锰酸钾自身分解, 由此就会引入负误差。所以, 将滴定温度严格控制在 75 ~ 80 ℃ 能够较好地兼顾上述 2 个方面的因素。

此外, 沸腾时间和滴定温度之间具有极显著的交互效应 ($F = 15.61$, $p < 0.001$), 说明滴定温度对测定结果的影响依赖于沸腾时间, 测定误差呈非线性放大。这表明高锰酸盐指数测定法的整个测定流程是一个有机整体, 需要从多方面精准把握, 任何单一的操作失误都可能导致前功尽弃。

2.3 优化流程的验证及其在水质管理中的应用价值

基于上述讨论, 本文提出了一套优化流程。为验证其普适性与优越性, 将其与传统国标法进行了系统对比, 结果如表 4 所示。

表 4 优化流程与传统方法对实际水样的测定结果对比 ($n=6$)

Tab. 4 Comparison of the Results of Optimized Process and Traditional Method for the Determination of Actual Water Samples ($n=6$)

水样	测定方法	测定值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	RSD	配对样本 t 检验 p 值
地表水	传统法	2.55 ± 0.047	1.84%	0.193
	优化法	2.52 ± 0.021	0.83%	
出厂水	传统法	0.88 ± 0.022	2.49%	<0.001
	优化法	0.75 ± 0.014	1.87%	
质控样品 (3.20 mg/L)	传统法	3.35 ± 0.023	0.69%	<0.001
	优化法	3.20 ± 0.021	0.66%	

2.3.1 方法验证

由表 4 可知, 优化流程对于所有水样 (超纯水、质控样、地表水、出厂水) 的测定精密度都有一定提高, 将测定结果的 RSD 控制在 2.0% 以内。其中, 出厂水由于高锰酸盐指数数值较低, 测定结果的随机误差影响更大^[11]。本优化流程一方面使用超纯水新鲜配制的硫酸溶液得到更低的系统全过程空白, 降低因试剂本底而产生的系统误差; 另一方面对沸腾时间和滴定温度进行严格控制, 使由反应动力学波动及人为误差等因素造成的随机误差降至最低。

从准确性角度考虑, 优化流程有良好的性能表现, 对有证标准物质的测定结果为 3.20 mg/L , 与真值一致。从配对 t 检验 p 值考虑, 出厂水 p 值、质控样品 p 值均小于 0.001, 优化法相对于传统法存在显著差异, 这反映了本优化流程方法相较于传统方法在准确性上确有真实改进的作用; 而地表水 p 值大于 0.05, 优化流程与传统方法的测定均值间没有统计学显著差异, 但标准偏差和 RSD 值均有一定优化, 推测这可能与地表水中的多组分杂质有关, 不作讨论。本优化法降低了测量过程中引入的不确定度, 有效提升了测定结果的准确性。

2.3.2 对水务行业检测实验室的应用价值

本优化流程对水务行业检测实验室的质量控制与工艺评估具有直接的应用价值, 主要体现在以下 3 个方面。

(1) 提升低浓度水样监测的准确性。对于高锰酸盐指数常低于 2.0 mg/L 的出厂水, 优化流程能更准确地测定其微小波动, 为实现从达标到优质的精细化管理提供可靠的数据支持。

(2) 提升实验室内部操作的一致性。采用统一的空白值校正方法与规范化的沸腾时间、滴定温度控制要求, 可以减少因操作人员习惯差异带来的系统偏差, 有利于提高实验室内重复测定的可靠性^[12]。

(3) 为实验室质控提供具有可操作性的建议。将系统全过程空白值纳入日常质控, 并建立关键操作参数 (如沸腾起始点判定、温度控制) 的作业指导, 使优化流程逐步转化为实验室质控能力提升。

3 结论

本文通过系统试验和定量分析, 明确了高锰酸盐指数 (酸性法) 测定中的主要误差来源, 并提出了

相应的优化流程,主要结论有以下 3 点。

(1) 测定误差主要来源于试剂空白、操作参数波动及终点判断主观性的叠加。其中,硫酸试剂贡献约 1/3 的系统全过程空白值;沸腾时间与滴定温度是关键控制参数,二者存在显著的交互作用,其波动会放大随机误差。

(2) 基于上述研究,提出了“低系统空白值-关键操作参数协同控制”的优化流程。经验证,该流程可以将实际水样测定的 RSD 稳定控制在 2.0% 以内,显著提升低浓度水样(如出厂水)测定的准确度与精密度。

(3) 建议在水务行业实验室中,尤其是对低浓度水样的检测,将系统全过程空白纳入日常质控,并对沸腾时间、滴定温度等关键参数严格记录并控制,以提升测定结果的可比性与可靠性。

参考文献

- [1] GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S].
GB 3838—2002 Environmental quality standards for surface water[S].
- [2] GB/T 5750.7—2023 生活饮用水标准检验方法 第 7 部分:有机物综合指标[S].
GB/T 5750.7—2023 Standard examination methods for drinking water—Part 7: Aggregate organic indices[S].
- [3] 方海英. 水质检测中对酸性高锰酸盐指数测定的研究[J]. 低碳世界, 2017, 7(33): 17-18.
Fang H Y. Study on determination of acid permanganate index in water quality detection[J]. Low Carbon World, 2017, 7(33): 17-18.
- [4] 苏新科, 商健, 王杨阳, 等. 酸性高锰酸钾滴定法测定饮用水中高锰酸盐指数[J]. 现代食品, 2025, 31(5): 192-194, 208.
Su X K, Shang J, Wang Y Y, et al. Acidic potassium permanganate titration method for determination of permanganate index in potable water[J]. Modern Food, 2025, 31(5): 192-194, 208.
- [5] 王庆郁. 高锰酸盐指数测定方法的研究进展[J]. 水上安全, 2025(2): 112-114.
Wang Q Y. Research progress on determination methods of permanganate index[J]. Maritime Safety, 2025(2): 112-114.
- [6] 周艺蓉. 水质高锰酸盐指数的测定方法探讨[J]. 农业与技术, 2021, 41(9): 91-93.
Zhou Y R. Discussion on determination method of permanganate index of water quality[J]. Agriculture and Technology, 2021, 41(9): 91-93.
- [7] 任泽熙. SPSS 统计分析软件在统计学中的应用探析[J]. 电脑知识与技术, 2023, 19(13): 67-68, 72.
Ren Z X. Application of SPSS statistical analysis software in statistics[J]. Computer Knowledge and Technology, 2023, 19(13): 67-68, 72.
- [8] 杜江, 陈丽琼, 杨晓红, 等. 保存剂(硫酸)对高锰酸盐指数测定的影响[J]. 环境科学导刊, 2019, 38(2): 93-96.
Du J, Chen L Q, Yang X H, et al. Effect of preservative (sulfuric acid) on determination of permanganate index [J]. Environmental Science Survey, 2019, 38(2): 93-96.
- [9] 赵忠琼, 杨小珊. 高锰酸盐指数—酸性法空白质量控制研究[J]. 环境科学导刊, 2011, 30(5): 92-94.
Zhao Z Q, Yang X S. Research on blank test quality control of permanganate index by acid method[J]. Environmental Science Survey, 2011, 30(5): 92-94.
- [10] 孙娟, 徐荣, 乔丹丹, 等. 用质量控制图监控饮用水高锰酸盐指数检测质量[J]. 化学分析计量, 2015, 24(5): 88-91.
Sun J, Xu R, Qiao D D, et al. Supervision of detection quality for permanganate index in drinking water by quality control chart [J]. Chemical Analysis and Meterage, 2015, 24(5): 88-91.
- [11] 胡伟. 水质高锰酸盐指数测定中误差来源与控制分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(19): 13-14, 17.
Hu W. Analysis of error sources and control in the determination of permanganate index of water quality[J]. Leather Manufacture and Environmental Technology, 2022, 3(19): 13-14, 17.
- [12] 李晓蓓, 滕艳君, 丁义. 水质监测分析中高锰酸盐指数运用分析[J]. 清洗世界, 2025, 41(5): 162-164.
Li X B, Teng Y J, Ding Y. Application analysis of permanganate index in water quality monitoring and analysis [J]. Cleaning World, 2025, 41(5): 162-164.