

分光光度法检测水质中总铬时国产磷酸适用性分析

陆国永¹ 吴悦^{2*} 赖永忠^{1,3,4}

(1. 广东省汕头生态环境监测中心站, 广东 汕头 515041;

2. 汕头职业技术学院 自然科学系, 广东 汕头 515041;

3. 汕头大学 海洋生物研究所, 广东 汕头 515063;

4. 汕头大学 广东省海洋生物技术重点实验室, 广东 汕头 515063)

摘要 为了评价国产磷酸用于水质中总铬检测的适用性, 收集了国内9个磷酸生产商生产的16批次磷酸, 考察了采用二苯碳酰二肼分光光度法测定环境水质中总铬时磷酸带入消解空白中总铬的浓度, 比较了使用不同厂家、不同批次磷酸所得消解空白的总铬浓度。其中9个批次磷酸所得消解空白中总铬浓度小于 $2.7\ \mu\text{g/L}$, 2个生产商生产共2个批次磷酸浓度分别为 4.2 和 $3.6\ \mu\text{g/L}$, 5个批次磷酸的结果高于 $6.5\ \mu\text{g/L}$; 地下水总铬浓度为 $2.0\ \mu\text{g/L}$, 使用各种磷酸进行消解的回收率为 $84.0\%\sim 104\%$ (添加 5.0 或 $10.0\ \mu\text{g/L}$ 总铬); 实际样品检测时, 需同步检测2个及以上的消解空白, 样品结果扣除消解空白结果后上报。建议将总铬含量纳入磷酸质量控制标准, 以提高检测结果准确度和各检测机构间检测结果的可比性。

关键词 磷酸; 总铬; 三价铬; 试剂污染; 二苯碳酰二肼; 分光光度法

中图分类号: O657.32 TH744.12 文献标志码: A 文章编号: 2095-1035(2022)06-0014-05

Study on the Applicability of Phosphoric Acids in Determination of Total Chromium with Spectrophotometric Method

LU Guoyong¹, WU Yue^{2*}, LAI Yongzhong^{1,3,4}

(1. Guangdong Shantou Ecological and Environment Monitoring Center Station, Shantou, Guangdong 515041, China;

2. Department of Natural Sciences, Shantou Polytechnic, Shantou, Guangdong 515041, China;

3. Institute of Marine Sciences, Shantou University, Shantou, Guangdong 515063, China;

4. Guangdong Provincial Key Laboratory of Marine Biotechnology, Shantou University, Shantou, Guangdong 515063, China)

Abstract To assess the application of domestic phosphoric acids for the detection of total chromium in the water sample, phosphoric acids (16 batches) produced by 9 domestic phosphoric acid manufacturers were collected. In the meanwhile, the concentration of total chromium in the digestion blanks were investigated when phosphoric acids were used to detect total chromium with the 1, 5-diphenylcarbazide

收稿日期: 2022-07-05 修回日期: 2022-08-17

基金项目: 广东省科技创新战略专项项目(180916004960402); 广东省科技专项资金项目(200109215871163, 200115105879145); 汕头市青年英才引进培养计划项目(2019-1); 汕头职业技术学院院级科研课题(SZK2021Z02)

作者简介: 陆国永, 男, 工程师, 主要从事生态环境监测研究。E-mail: stluguoyong@163.com

* **通信作者:** 吴悦, 女, 讲师, 主要从事给水净化技术与水污染控制研究。E-mail: 5.yue@163.com

引用格式: 陆国永, 吴悦, 赖永忠. 分光光度法检测水质中总铬时国产磷酸适用性分析[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(6): 14-18.

LU Guoyong, WU Yue, LAI Yongzhong. Study on the Applicability of Phosphoric Acids in Determination of Total Chromium with Spectrophotometric Method[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022, 12(6): 14-18.

spectrophotometric method, and the results of digestion blanks with different manufacturers and different batches of phosphoric acids were compared. The results showed that the total chromium concentrations in the digestion blanks obtained from 9 batches of phosphoric acid were less than $2.7 \mu\text{g/L}$, and two batches were from 3.5 to $4.2 \mu\text{g/L}$, while others were higher than $6.5 \mu\text{g/L}$. Total chromium concentration in groundwater was $2.0 \mu\text{g/L}$, while the recoveries digested with various phosphoric acids were $84.0\%—104\%$ (spiked with 5.0 or $10.0 \mu\text{g/L}$ total chromium). During actual sample testing, more than two digestion blanks shall be detected synchronously. Results are reported after deducting the average value of the digestion blanks. It is suggested that the total chromium content should be included in the phosphoric acid quality control standard to improve the accuracy of the test results and the comparability among testing institutions.

Keywords phosphoric acid; total chromium; chromium(Ⅲ); reagent contamination; 1,5-diphenylcarbazide; spectrophotometric method

铬是国家重金属污染综合防治“十三五”规划中重点控制的重金属之一,是我国最新要求重点防控的重金属污染物之一^[1]。六价铬具有毒性,含六价铬化合物被列入我国第一批有毒有害水污染物名录,总铬和六价铬是污染物排放标准中常见的一类污染物,是“最高人民法院和最高人民检察院《关于办理环境污染刑事案件适用法律若干问题的解释》”中提到的重要入刑依据,其检测结果的准确度应受到足够重视。环境样品从采样、运输、样品前处理及检测等环节,所用各种器皿、器材以及试剂等均可能带入待测物,影响检测结果的准确度^[2-6]。因此,应尽量避免这些环节、用品存在待测物质污染,以免增加检测结果的不确定性,导致检测结果失真。文献^[5]发现,调查的 4 批次磷酸(来自 4 个生产商)中,来自 3 个磷酸生产商共 3 批次磷酸均存在明显的铬污染,使消解空白中存在明显的铬检出;全程空白结果可监控整个检测过程中各种器皿、试剂、仪器和环境对实验结果的影响,对全程空白结果的扣除可一定程度上降低或消除此类影响^[2-3,5]。

当采用二苯碳酰二肼分光光度法检测六价铬或总铬时,涉及酸性高锰酸钾氧化消解的样品,均需对加磷酸后样品进行消解处理,磷酸中三价铬将转变为六价铬而被检测,因此需要注意不同来源磷酸可能带来的铬污染^[5]。文献^[5]只比较了 4 家磷酸生产商共 4 个批次的磷酸,并不能代表国内的基本情况。本研究收集了广东省粤东 4 市(汕头市、揭阳市、梅州市、潮州市)辖区内主要生态环境检测机构(包括各级生态环境监测站和第三方检测机构)所用磷酸,涉及 9 个国内磷酸生产商,共 16 批次未开启的不同纯度磷酸;调查了这些磷酸用于环境水质中总铬检测时,带入消解空白中的总铬浓度,研究结果

可提高水体检测结果的准确度,可为其他检测机构采购磷酸提供重要参考,有利于提高检测机构间结果的可比性,为六价铬和总铬标准检测方法修订、浓磷酸产品质量控制标准完善提供依据。

1 实验部分

1.1 主要仪器

UV-2450 型紫外/可见-分光光度计(日本岛津公司),FA1604S 型电子天平(上海天平仪器厂),KL-UP-Ⅲ-20 型超纯水机(成都唐氏康宁科技发展有限公司),EG37C 型微控数显电热板(北京莱伯泰科仪器股份有限公司)。

1.2 主要试剂

六价铬单元素标准储备溶液(100 mg/L ,中国计量科学研究院):用超纯水逐级稀释得到 5.00 mg/L 六价铬标准使用液, 5.00 mg/L 六价铬标准使用液经还原、稀释后得到浓度为 2.00 mg/L 的三价铬标准使用液^[5]。

丙酮(分析纯)、硫酸(优级纯)和高锰酸钾(优级纯)均来自西陇科学股份有限公司(简称“西陇”)。尿素(分析纯)、亚硝酸钠(纯度为 99.99%)和二苯碳酰二肼(分析纯)分别购自广东光华科技股份有限公司(简称“光华”)、上海阿拉丁生化科技股份有限公司和国药集团化学试剂有限公司(简称“国药”)。磷酸生产厂家包括:西陇、光华、国药、广州化学试剂厂、成都市科龙化工试剂厂、天津市科密欧化学试剂有限公司,分别用 A、B、C、D、E 和 F 表示,其他 3 家来自成都和天津的供应商则用 G、H 和 I 表示。

显色剂:称取 0.400 g 二苯碳酰二肼,溶于预加有 50 mL 丙酮的棕色试剂瓶中,搅拌使完全溶解后,瓶内加入 50 mL 超纯水,混匀后放冰箱保存;使

用时,每 50 mL 样品加入 1.00 mL 此显色剂。

硫酸(1+1):在 500 mL 棕色玻璃瓶内,加入 250 mL 超纯水,玻璃瓶在自来水水浴下缓缓加入 250 mL 浓硫酸,水平缓缓混匀并冷却后备用。

磷酸(1+1):在 16 支 25 mL 比色管内,依次准确移入浓磷酸和超纯水各 10 mL,每支比色管对应一种来源及纯度的磷酸,混匀后备用。

高锰酸钾溶液(100 g/L):称取 10.0 g 高锰酸钾,溶于预加有 100 mL 超纯水的棕色试剂瓶中,混匀。

尿素溶液(200 g/L):称取 200.0 g 尿素,溶于预加有 1 000 mL 超纯水的透明试剂瓶中,混匀。

亚硝酸钠溶液(20 g/L):称取 20.0 g 亚硝酸钠,溶于预加有 1 000 mL 超纯水的透明试剂瓶中,混匀。

1.3 实验方法

1.3.1 实验步骤

参照 GB/T 7467—1987,转移 50 mL 超纯水或地下水样品至 50 mL 比色管,用样品定容至刻度,加入 0.50 mL 硫酸(1+1)。比色管内样品混匀后,转移至 100 mL 烧杯,用少量超纯水清洗比色管内壁,清洗水汇入烧杯内。烧杯内加入 0.50 mL 磷酸(1+1)和 1 滴高锰酸钾溶液,混匀后在 210 °C 电热板上消解至约 20 mL,消解期间滴加适量高锰酸钾溶液以保持紫红色。

过滤:消解好的样品冷却后,通过慢速滤纸过滤至预加入 1 mL 尿素溶液的 50 mL 比色管内,用少量超纯水清洗烧杯内壁,清洗液再用于冲洗滤纸内沉淀,至少清洗 3 次,用水量以最后体积约 45 mL 为宜。

消除过量高锰酸钾:比色管内样品混匀后,滴加亚硝酸钠溶液,每滴 1 滴即混匀,停留片刻后观察残余高锰酸钾颜色,直至紫红色刚好消失。消除高锰酸钾后的样品溶液,静止 20 min 后,定容至刻度,加入 1 mL 显色剂,混匀后待测吸光度。

1.3.2 地下水检测

地下水选择汕头市某国控网地下水,每种酸的消解方案重复 4 次。加标实验中,使用 F(GR 级)、G、H 和 I 生产的磷酸时,样品加标浓度为 10.0 $\mu\text{g/L}$ 总铬,其余加标浓度为 5.0 $\mu\text{g/L}$,所有加标实验重复 4 次。总铬工作曲线绘制过程参考文献[5],定量方法采用双波长法^[7]。

2 结果与讨论

2.1 工作曲线及方法检出限

总铬的工作曲线参数详见表 1,得到的拟合直线方程为 $y = 0.00245x - 0.0004$,线性关系 $r > 0.9999$ 。测定 10 个 5.0 $\mu\text{g/L}$ 三价铬标准点水样,统计结果的标准偏差(S),S 乘以系数 2.821 得出总铬的方法检出限为 1.2 $\mu\text{g/L}$ 。

表 1 总铬工作曲线

Table 1 Work curve of total chromium

配制浓度/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0	5.0	10.0	20.0	40.0	100	200	300
吸光度($A_{540}-A_{660}$) [*]	0	0.012 8	0.025 0	0.047 7	0.095 2	0.246 1	0.488 9	0.734 9

* 吸光度已扣除消解空白吸光度。

2.2 消解体系中总铬来源分析

消解空白样品中,可能带入铬污染的因素包括超纯水、硫酸、磷酸、高锰酸钾、烧杯、漏斗及滤纸,其主要污染来源为磷酸^[5]。实验结果显示,当只加入 0.50 mL 硫酸(1+1)时,消解空白结果为 0.9 $\mu\text{g/L}$ (表 2),加入 1.00 mL 时结果为 1.5 $\mu\text{g/L}$,可见 0.50 mL 硫酸(1+1)带入消解空白的净总铬浓度约为 0.6 $\mu\text{g/L}$,剩余约 0.3 $\mu\text{g/L}$ 总铬则来自其他实验室器皿、耗材、试剂和环境等综合污染。

样品中加入不同来源、批次的磷酸后,消解空白中总铬的浓度范围 1.7~20.0 $\mu\text{g/L}$,其中使用 A、B、C、D 和 E 生产磷酸的消解空白中总铬浓度为 2.0~4.2 $\mu\text{g/L}$,由 F(GR 级)、G 和 H 生产的磷酸

6.8~9.8 $\mu\text{g/L}$,由 I 生产的磷酸则高达 20.0 $\mu\text{g/L}$ 。扣除磷酸之外的消解系统污染(0.9 $\mu\text{g/L}$)后,F 生产的 AR 和 HPLC 级磷酸导致消解空白中总铬浓度由 1.7 $\mu\text{g/L}$ 降至 0.8 $\mu\text{g/L}$ ($<$ 方法检出限 1.2 $\mu\text{g/L}$);西陇产 GR 级磷酸(批号:190303 1)由 1.8 $\mu\text{g/L}$ 降至 0.9 $\mu\text{g/L}$ ($<$ 方法检出限 1.2 $\mu\text{g/L}$),AR 级磷酸(批号:181203 1)由 2.0 $\mu\text{g/L}$ 降至 1.1 $\mu\text{g/L}$ ($<$ 方法检出限 1.2 $\mu\text{g/L}$);由 A(AR 级,批号:170614 2)、B、C、D 和 E 生产磷酸导致消解空白中总铬浓度(1.2~3.3 $\mu\text{g/L}$)大于等于本研究的方法检出限(1.2 $\mu\text{g/L}$),小于 GB 7466—1987 的方法检出限 4 $\mu\text{g/L}$ 。由上述内容可知,使用不同来源的磷酸时,消解空白中总铬的浓度差异明显,而本研究结果可为检验检测机

构采购磷酸提供重要参考。

使用 A、B 和 D 生产的较新批次磷酸所得消解空白中总铬的浓度低于旧批次,其中 A 生产的较新批次 AR 级磷酸与 GR 级的非常接近;使用 F 生产的 AR 级和 HPLC 级磷酸结果均约为 GR 级的 1/4;

H 生产的 2 个批次磷酸的结果一致(表 2);E 和 G 存在关联^[5],他们所产磷酸中,较新批次磷酸结果约是旧批次的 2.8 倍(表 2)。可见,磷酸的纯度与铬的污染情况没有相关性,推测磷酸内总铬含量的高低与原材料及生产工艺有关。

表 2 不同来源磷酸对全程空白结果的影响

Table 2 Effect of phosphoric acids from different companies on results of whole progress blank samples($n=4$)

生产 商	纯度	批号	消解空白		地下水本底 (扣除消解空白前)		地下水本底 (扣除消解空白后)		地下水加标 (扣除消解空白前)			地下水加标 (扣除消解空白后)		
			平均值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	RSD/ %	平均值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	RSD/ %	平均值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	RSD/ %	平均值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	回收率/ %	RSD/ %	平均值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	回收率/ %	RSD/ %
A*	GR	190416 1	0.9	11.1	3.0	3.3	2.1	4.8	8.0	100	2.5	7.1	100	2.8
A**	GR	190416 1	1.5	6.7	3.8	5.3	2.3	8.7	8.7	98.0	4.6	7.2	98.3	5.6
A	AR	170614 2	3.6	0	5.8	6.9	2.2	18.2	10.6***	96.0	1.9	8.6***	96.0	2.3
A	AR	181203 1	2.0	10.0	4.4	6.8	2.4	12.5	8.8	88.2	1.1	5.2	88.1	1.9
A	GR	190303 1	1.8	0	3.4	2.9	1.6	6.3	8.0	92.0	3.8	6.2	92.2	4.8
B	AR	20151024	2.6	3.8	3.8	7.9	1.2	25.0	8.7	98.1	3.4	6.1	98.4	4.9
B	AR	20190115	2.1	4.8	3.7	2.7	1.6	6.3	8.0	86.0	0	5.9	86.0	1.7
C	AR	20181019	2.3	4.3	4.2***	9.5	1.9***	21.1	8.4***	84.3	1.2	6.1***	84.0	1.6
D	AR	20020601-3	4.2	2.4	6.1	4.9	1.9	15.8	10.8	94.0	0.90	6.6	94.2	1.5
D	AR	20140602-1	2.5	4.0	4.4	2.3	1.9	5.3	8.8	88.2	3.4	6.3	88.0	4.8
E	GR	2011041	2.4	4.2	4.5	4.4	2.1	9.5	9.0	90.1	1.1	6.6	90.1	1.5
F	AR	20180706	1.7	5.9	4.1	7.3	2.4	12.5	8.7	92.0	3.4	7.0	92.0	4.3
F	GR	20180404	6.9	1.4	8.7	2.3	1.8	11.1	19.1 ^a	104	1.6	12.2 ^a	104	2.5
F	HPLC	20180919	1.7	5.9	3.6	5.6	1.9	10.5	8.5	98.0	5.9	6.8	98.0	7.4
G	GR	2018080901	6.8	1.5	8.7	5.7	1.9	26.3	19.0 ^a	103	1.6	12.2 ^a	103	2.5
H	AR	20190103	9.8	2.0	11.4	3.5	1.6	25.0	21.7 ^a	103	0.50	11.9 ^a	103	0.80
H	AR	20180801	9.8	2.0	11.7	3.4	1.9	21.1	21.7 ^a	100	0.90	11.9 ^a	100	1.7
I	AR	121207	20.0	1.5	23.0	0.40	3.0	3.3	32.8 ^a	98.0	1.2	12.8 ^a	98.0	3.1

注: * 表示硫酸(1+1)加入量为 0.50 mL,磷酸加入量为 0.00 mL;** 表示硫酸(1+1)加入量为 1.00 mL,磷酸加入量为 0.00 mL;*** 表示 $n=3$;a 表示加标浓度为 10.0 $\mu\text{g/L}$,其余加标浓度为 5.0 $\mu\text{g/L}$;不同来源磷酸(1+1)加入量为 0.50 mL,所用硫酸均为西陇科学股份有限公司产硫酸(GR,批号:190416 1),硫酸(1+1)加入量为 0.50 mL。

表 2 结果说明使用不同来源、批次的磷酸时,消解空白中总铬污染主要来自磷酸。文献^[8]的研究结果显示,本研究所用磷酸中并无明显的六价铬检出(试剂空白浓度为 0.3~0.7 $\mu\text{g/L}$),说明本研究发现的消解空白中总铬主要组成为三价铬。试剂中存在的三价铬在直接显色样品中并无阳性干扰,在加热条件下可经酸性高锰酸钾氧化后转化为六价铬^[9],使得消解空白中存在不同浓度的检出现象。使用有明显铬污染的磷酸,如果样品间的用量未保持一致,将影响方法的准确度和精密度,最终影响检测机构的公信力。

2.3 地下水中总铬含量

采集汕头市某国家网地下水样品进行总铬检测,以检查使用不同来源、不同批次及不同纯度等级磷酸对其结果的影响。结果发现,扣除消解空白前,单独使用 0.50 mL 和 1.00 mL 硫酸(1+1)消解的结果分别为 3.0 和 3.8 $\mu\text{g/L}$,使用不同磷酸消解后

的地下水中总铬浓度为 3.4~23.0 $\mu\text{g/L}$,均属于明显检出水平,总体趋势随消解空白的增减而增减;所有消解方案的均值和相对标准偏差 RSD 分别为 6.6 $\mu\text{g/L}$ 和 74.7%,说明使用不同来源磷酸结果的差异非常大。

扣除消解空白后,所有消解方案的地下水结果为 1.2~3.0 $\mu\text{g/L}$,说明地下水中总铬浓度为轻微检出。所有消解方案的均值和 RSD 分别为 2.0 $\mu\text{g/L}$ 和 20.0%,远小于扣除消解空白前的结果,说明扣除消解空白后,使用不同磷酸所得结果间具有较好的可比性。

从地下水的结果说明,在日常样品消解过程中,应至少安排 2 个同批次消解空白,实际样品结果应扣除消解空白结果;同时,当方法重复性欠佳时,应查找原因并解决问题,特别是使用有总铬本底污染的磷酸时,轻微的磷酸用量差异可能导致结果的明显差别。

2.4 讨论

实验证明,使用不同来源、相同来源但不同批次的磷酸,导致的消解空白中存在较大差异的总铬本底。究其原因因为浓磷酸的生产质量控制标准中,并无总铬要求,导致不同来源及不同批次的磷酸间存在较大差异的总铬污染。

由于水质六价铬检测中,复杂基体样品需要通过“氢氧化锌共沉淀—酸性高锰酸钾消解法”进行样品前处理,与总铬检测一致,在消解前需加入硫酸和磷酸。因此,磷酸中总铬污染问题在六价铬检测中同样存在,本研究结论对六价铬检测同样适用。为了确保水体总铬和六价铬检测结果的准确度,以及确保检测机构间结果的可比性,建议在浓磷酸的质量控制标准中增加总铬含量要求,或者生产商开发环保专用的磷酸,以确保使用后的消解空白中总铬浓度满足低于方法检出限的通用试剂空白要求。

3 结论

本研究对粤东区域生态环境检测机构所用磷酸在水体总铬检测中的适用性进行分析,共收集 16 批次产品,涉及 9 个国内生产商。结果表明,在消解超纯水时,使用不同来源磷酸的消解空白中总铬浓度明显检出,且差异明显;不同磷酸用于地下水检测,地下水检测结果随磷酸中总铬本底污染浓度的增加而增加,导致样品结果的不确定性增加,需要扣除同步检测的多个消解空白结果均值。建议浓磷酸的生产质量控制标准中增加总铬控制指标,推出铬检测专用磷酸。

参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 关于进一步加强重金属污染防治的意见[EB/OL]. (2022-03-03)[2022-07-05]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202203/t20220315_971552.html.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Opinions on further strengthening the control of heavy metal pollution[EB/OL]. (2022-03-03)[2022-07-05]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202203/t20220315_971552.html
- [2] 陆遐南. 环境监测中的空白试验与最低检测限[J]. 中国环境监测, 1993, 9(2): 49-51.
LU Xianan. Blank test and limit of detection in environmental monitoring[J]. Environmental Monitoring in China, 1993, 9(2): 49-51
- [3] 皮仙宏. 测定土壤中酞酸酯类有机物时空白干扰的排除[C]//2011 中国环境科学学会学术年会论文集. 第四卷. 北京: 中国环境科学学会, 2011: 387-391.
- PI Xianhong. Elimination of blank interference for the determination of phthalate esters in soil [C]// Proceedings of the 2011 Academic Annual Meeting of the Chinese Society of Environmental Sciences. Volume IV. Beijing: Chinese Society of Environmental Sciences, 2011: 387-391.
- [4] 王玉功, 刘婧晶, 余志峰. 电感耦合等离子体发射光谱法测定固体废物浸出液与消解液中六价铬[J]. 中国无机分析化学, 2019, 9(5): 1-4.
WANG Yugong, LIU Jingjing, YU Zhifeng. Determination of chromium Cr(VI) in solid waste leachate and digester by inductively coupled plasma emission spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2019, 9(5): 1-4.
- [5] 占美君, 陆国永, 赖永忠, 等. 总铬全程空白污染来源分析及解决方案[J]. 印染, 2019, 45(8): 48-52.
ZHAN Meijun, LU Guoyong, LAI Yongzhong, et al. Sources and solution of whole process blank pollution in total chromium monitoring[J]. Dyeing & Finishing, 2019, 45(8): 48-52.
- [6] 金超, 罗克菊, 杨显双. 利用智能手机快速测定水环境中的六价铬含量[J]. 中国无机分析化学, 2021, 11(5): 50-54.
JIN Chao, LUO Keju, YANG Xianshuang. Rapid detection of hexavalent chromium by smartphone in water environment[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(5): 50-54.
- [7] 赖永忠, 王亮根. 两种双波长法用于减小浊度对废水中六价铬测定结果的影响[J]. 化学工程师, 2012, 26(10): 27-30, 35.
LAI Yongzhong, WANG Lianggen. Influence on test results of reduce the turbidity of wastewater of Cr(VI) by two kinds of dual wavelength method[J]. Chemical Engineer, 2012, 26(10): 27-30, 35.
- [8] 赖永忠, 陆国永, 占美君, 等. 提高水质铬(VI)检测结果精密度和准确度的方法[J]. 化学工程师, 2021, 35(1): 74-77, 39.
LAI Yongzhong, LU Guoyong, ZHAN Meijun, et al. Study on the methods for improving the accuracy and precision for chromium(VI) determination in blank samples[J]. Chemical Engineer, 2021, 35(1): 74-77, 39.
- [9] 韩超, 孙国娟. 二苯碳酰二肼分光光度法测定 PCB 废水中六价铬[J]. 中国无机分析化学, 2019, 9(4): 16-18.
HAN Chao, SUN Guojuan. Spectrophotometric determination of hexavalent chromium in PCB waste water by 1,5-diphenylcarbonyldiazide[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2019, 9(4): 16-18.