

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.05.023

夏铭德, 韦存茜, 刘峻. 基于颜色识别技术的 COD 自动测定仪在食品接触材料中的应用[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 252-258.

XIA M D, WEI C Q, LIU J. Application of COD automatic measuring instrument based on color recognition technology in food contact materials[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(5): 252-258.

# 基于颜色识别技术的 COD 自动测定仪 在食品接触材料中的应用

夏铭德, 韦存茜, 刘 峻

(上海市质量监督检验技术研究院, 上海 201114)

**摘 要:** 传统的高锰酸钾消耗量 (COD) 实验方法是多年来使用较广泛的检测方法, 以其实验原理及操作简单、实验成本低被应用于食品接触材料及制品的检测中。但传统的 COD 实验方法在应对大量待测样品时有检测效率低、人力成本投入大等劣势。近年来出现了一些基于电位滴定的 COD 自动测定仪, 但该类型的 COD 自动测定仪与传统的 COD 实验方法在原理上有本质不同。而基于颜色识别技术的 COD 自动测定仪在保持与传统实验方法原理相同的情况下, 可代替人工, 且在技术指标上满足实验要求, 实现自动化, 提高检测效率。介绍一种基于颜色识别技术的 COD 自动测定仪, 并通过实验数据对自动测定仪进行改进优化。

**关键词:** 食品接触材料; 高锰酸钾消耗量 (COD); 颜色识别技术; 自动测定仪; 自动测定仪

**中图分类号:** TS206.1   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-7561(2022)05-0252-07

## Application of COD Automatic Measuring Instrument Based on Color Recognition Technology in Food Contact Materials

XIA Ming-de, WEI Cun-qian, LIU Jun

(Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai, 201114, China)

**Abstract:** The traditional potassium permanganate consumption (COD) test method is the detection method which has been widely used for many years. It has been applied to the detection of food contact materials and its products because it has some advantages, such as experimental operation, simple experimental principle and low experimental cost. But when dealing with a large number of samples, the traditional COD test method seems to be not very well. The traditional COD test method has some big disadvantages, such as low detection efficiency and high manpower cost investment. Therefore, some COD automatic titrators based on potentiometric titration technology have been invented in recent years. However, this type of COD automatic titrator is fundamentally different from the traditional COD test method in principle. The COD automatic measuring instrument based on color recognition technology can replace manual work while maintaining the same principle with the traditional COD test method, meeting the test requirements on

收稿日期: 2022-04-10

基金项目: 国家市场监督管理总局科技计划项目(2020MK029)

Supported by: Science and Technology Project of State Administration for Market Regulation (No. 2020MK029)

作者简介: 夏铭德, 男, 1995 年出生, 本科, 助理工程师, 研究方向为食品接触材料检测。E-mail: xiamd@sqi.org.cn.

technical indicators, realizing automation and improving the detection efficiency. This paper introduces a kind of COD automatic measuring instrument based on color recognition technology, and improves and optimizes the automatic titrator by experimental data.

**Key words:** food contact material; potassium permanganate consumption (COD); color recognition technology; automatic titrator; automatic measuring instrument

高锰酸钾消耗量是指食品接触材料在一定时间、温度条件下迁移到水里面可被高锰酸钾氧化的物质总量,表明了食品接触材料中可迁移出并能被氧化的水溶性物质的总和<sup>[1]</sup>。这些物质主要是有机物质,其主要是从聚合物在浸泡过程中迁移到蒸馏水中的有机物<sup>[2]</sup>,这些迁移出来的有机物,包括聚合物单体等,例如聚碳酸酯(PC)制品可能会迁移出双酚A单体;丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)制品中可能会迁移出丁二烯单体<sup>[3]</sup>,这些迁移出的单体可扰乱人体内的代谢过程还可能诱发某些癌症,增加神经系统损伤、代谢综合征以及肿瘤的发生风险,长期接触可引起慢性中毒<sup>[4]</sup>。根据GB 31604.2—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品 高锰酸钾消耗量的测定》<sup>[5]</sup>,高锰酸钾消耗量的实验原理为通过在酸性条件下加入高锰酸钾,在煮沸的情况下将迁移出并能被氧化的水溶性物质氧化,再趁热加入草酸,最后再次通过高锰酸钾进行返滴定的过程。在最后返滴定的过程中,高锰酸钾不仅起到了氧化剂的作用,同时作为拥有非常明显的紫色化合物,其还起到了指示剂的作用。在返滴定过程中,当滴定溶液呈微粉色且30 s内溶液不褪色时即为滴定终点。此时高锰酸钾微微过量,同时也意味着能被高锰酸钾还原的物质均已反应完毕。故用肉眼即可观察到反应完毕的过程。近些年在技术的发展下,基于颜色识别技术的COD自动测定仪应运而生,其通过颜色识别系统对三原色(RGB)及颜色深浅进行识别,从而实现滴定终点的精确判定,并结合机械臂及加热装置等辅助从而实现滴定实验流程自动化。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

硫酸(95.0%~98.0%)、乳酸(AR):国药集团化学试剂有限公司;高锰酸钾标准滴定溶液

[C(1/5KMnO<sub>4</sub>)=0.01 mol/L]、草酸标准滴定溶液[C(1/2H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)=0.01 mol/L]:上海计量院。

### 1.2 仪器与设备

UF260 电热鼓风干燥箱:德国美墨尔特公司;GC400 高锰酸钾消耗量自动测定仪:上海北裕分析仪器股份有限公司。

### 1.3 实验原理

#### 1.3.1 溶液配制

高锰酸钾标准滴定溶液[c(1/5KMnO<sub>4</sub>)=0.01 mol/L]:取25 mL高锰酸钾标准溶液[C(1/5KMnO<sub>4</sub>)=0.1 mol/L]用水稀释至250 mL。

草酸标准滴定溶液[C(1/2H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)=0.01 mol/L]:取25 mL草酸标准溶液[C(1/2H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)=0.1 mol/L]用水稀释至250 mL。

硫酸溶液(1+2):取硫酸100 mL小心加入200 mL水中,混匀。

(所用试剂均为分析纯,水为GB/T 6682规定的二级水)。

#### 1.3.2 人工实验流程

根据GB 31604.2—2016中所述实验流程,准确量取100 mL待测溶液于250 mL锥形瓶中,加入2粒玻璃珠,加入5 mL硫酸(1+2)、10 mL高锰酸钾标准溶液(0.01 mol/L),准确煮沸5 min后,趁热加入10 mL草酸标准溶液(0.01 mol/L),再以高锰酸钾标准溶液(0.01 mol/L)滴定至微红色,并在0.5 min内不褪色。

#### 1.3.3 设备实验流程

准确量取100 mL待测溶液于设备配套的石英杯中,加入搅拌子,将配制完成的高锰酸钾标准溶液(0.01 mol/L)、草酸标准滴定溶液(0.01 mol/L)及硫酸溶液(1+2)装入对应的容器中,并插入对应的导管,打开设备及电脑软件,手动点击操作软件中的“清洗管路”,等待管路清洗完成后,点击“开始任务”即可由自动测定仪自动加入

5 mL 硫酸 (1+2)、10 mL 高锰酸钾标准溶液 (0.01 mol/L), 加热至沸并准确计时 5 min, 抓取至滴定区并加入 10 mL 草酸标准溶液 (0.01 mol/L), 最后以高锰酸钾标准溶液 (0.01 mol/L) 滴定至微红色完成滴定。

### 1.3.4 设备原理

为实现上述操作的全程自动化, COD 自动滴定仪通过各类机构协同配合, 其机构主要可分为工作平台、样品移动台 (机构)、试剂添加组件 (机构) 这 3 个部分组成。示意图如图 1 所示。

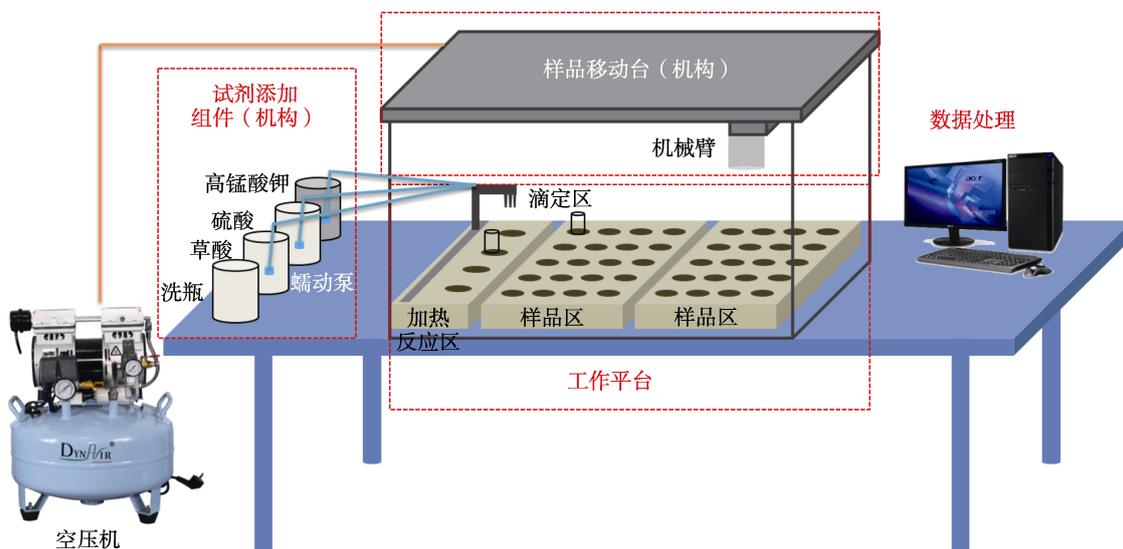


图 1 设备示意图

Fig. 1 The organigram of equipment

**1.3.4.1 工作平台** 工作平台包括样品区、用于加热反应的加热反应区和滴定区。样品区主要用来存放初始待测样品。按照标准预处理后的样品盛装在玻璃杯中, 添加搅拌子, 手动排序放入样品区; 加热反应区主要用来实现实验过程中需要加热煮沸的过程。为实现准确煮沸 5 min 的要求, 其内置了温度控制系统控制加热温度、摄像头识别系统识别是否煮沸以及计时模块控制煮沸 5 min 的消解条件; 滴定区主要用来实现自动滴定的过程。为实现整个滴定过程自动化, 其内置了温度控制系统、智能辨色系统和搅拌系统。温度控制系统控制草酸加入的温度为 75~90 °C<sup>[6]</sup>; 智能辨色系统由光源和视觉检测两部分组成, 通过视觉检测模块辨别颜色, 颜色传感器定时采集到被测物体颜色信号<sup>[7]</sup>, 通过检测 T 时样品颜色, 与 T-1 时的样品颜色进行比对, 根据设定的变化规则判定是否到达滴定终点; 搅拌系统通过磁力搅拌子实现样品均匀搅拌, 防止滴定过程中不均匀导致的“假终点”。

**1.3.4.2 样品移动台 (机构)** 样品移动台 (机构) 主要用来代替人工进行样品的抓取, 并在不

同的工作区之间移动在工作平台内进行三维运动, 从而实现样品杯从样品区-加热反应区-滴定区-样品区的运动轨迹, 并按照设定的程序将样品杯按照设定程序放置到指定位置。为实现上述功能, 样品移动机构内置了电机、滑轨和机械臂进行三维运动, 并通过带有气泵装置的机械臂进行抓取。在取放样品杯时, 电机和滑轨根据程序将机械臂移动到相应位置, 到达指定位置后, 机械臂向下运动到样品杯的高度, 此时空气泵加压, 抓取样品杯, 机械臂向上运动, 电机和滑轨再次移动到下一个指定位置, 到达指定位置后, 机械臂再次向下运动, 空气泵泄压, 从而完成样品杯的取放。除此以外, 为防止机械臂位移时出现位移偏差, 在机械臂内部还内置了红外定位装置对三维定位的位置进行分析, 从而辅助机械臂达到更高的定位精度<sup>[8]</sup>。

**1.3.4.3 试剂添加组件 (机构)** 试剂添加组件 (机构) 主要用来实现加液和滴定的功能。为实现精准加液及滴定的功能, 整个试剂添加组件 (机构) 通过蠕动泵进行加液和滴定。试剂添加系统

分为3路,分别为高锰酸钾标准溶液、硫酸溶液、草酸标准溶液。在实验之前润洗管路;通过定量泵在样品杯中加入10 mL高锰酸钾,5 mL硫酸;停止加热移动至滴定位,冷却至设定温度后通过定量泵加入10 mL草酸,以一定速率滴定高锰酸钾溶液,到达终点时将信号传送到试剂添加端,停止添加试剂,并自动记录下滴定体积。

## 2 结果与分析

### 2.1 数据验证

#### 2.1.1 实验数据

在水质检测领域的高锰酸盐指数的测定<sup>[9-10]</sup>中往往会通过标准样品进行测量系统的校准、测

量程序的评估、给空白赋值和质量控制等<sup>[11-12]</sup>。而在食品接触材料的测定中,由于食品接触用样品的特殊性,无可用于比对的质控样品<sup>[13]</sup>。为此,本实验室通过每个样品浸泡200 mL浸泡液进行浸泡,并分成2份,每份100 mL,一份人工滴定,另一份由自动测定仪滴定,从而在控制相同浸泡液(测定液)的情况下进行数据验证。结果如表1所示。

根据上表中的数据,不难发现,自动测定仪的数值均比人工滴定的数值偏大,且结果越小,相对偏差越大;究其根源,主要为滴定体积偏大,且相差大约为0.3~0.4 mL左右。为探究其原因,本文进行了一系列的实验并对设备进行了改进。

表1 人工滴定与设备滴定的第一次结果比对

Table 1 Comparison of the first result of manual titration with equipment titration

样品 编号	人工滴定			自动滴定			RSD/%
	滴定体积/mL	空白滴定体积/mL	结果/(mg/kg)	滴定体积/mL	空白滴定体积/mL	结果/(mg/kg)	
	1.25	0.25	2.35	1.53	0.19	4.21	40.09
	3.10	0.25	8.95	3.29	0.19	9.47	3.99
	3.30	0.25	9.58	3.53	0.19	10.49	6.41
	6.25	0.25	18.89	6.58	0.19	20.08	4.31
	0.75	0.25	1.57	1.03	0.19	2.64	35.94
	0.85	0.25	1.88	1.16	0.19	3.04	33.34
	0.90	0.25	2.04	1.27	0.19	3.39	35.16
	4.55	0.25	13.51	4.73	0.19	14.27	3.86
	5.05	0.25	15.08	5.26	0.19	15.93	3.87
	3.75	0.25	11.00	4.01	0.19	12.00	6.14

注:  $C(\text{KMnO}_4)=0.009947 \text{ mol/L}$ ,  $S/V=6 \text{ dm}^2/1\text{L}$ 。

Note:  $C(\text{KMnO}_4)=0.009947 \text{ mol/L}$ ,  $S/V=6 \text{ dm}^2/1\text{L}$ 。

#### 2.1.2 原因探究

通过比对自动测定仪与人工滴定的参数及过程,最终发现两者在加热至煮沸的时间上有较大的差异,自动测定仪的加热至煮沸为人工滴定的两倍。为验证加热至煮沸时间对于高锰酸钾消耗量实验的影响,并排除自动测定仪与人工滴定之间的其他差异,本文采用控制变量法进行比对,即每个样品浸泡200 mL浸泡液进行浸泡,并分成2份,每份100 mL,两份均为人工滴定,2份样品仅通过改变加热至煮沸时间这一变量。结果如表2所示。

由表2中的数据,不难发现,加热至煮沸时间对滴定体积确实有较为显著的影响,且无论样品滴定体积的多和少,加热至煮沸的时间为10 min的滴定体积均比加热至煮沸的时间为5 min的多大约0.3~0.4 mL左右,这便导致滴定体积越小的样品其相对偏差会越大。为再次验证该结论的准确性,本文使用配置成一定浓度的乳酸溶液并通过相同实验方法进行验证,结果如表3所示。

因此,由表2及表3的实验数据均可发现,缩短加热至煮沸的时间将提升实验数据的准确性。

表 2 不同加热至煮沸的时间的结果比对 ( 样品 )  
Table 2 Comparison of results of different heating to boiling times (Samples)

样品 编号	加热至煮沸的时间: 5 min			加热至煮沸的时间: 10 min			RSD/%
	滴定体积/mL	空白滴定体积/mL	结果/(mg/kg)	滴定体积/mL	空白滴定体积/mL	结果/(mg/kg)	
	0.57	0.25	1.00	0.82	0.20	1.94	45.21
	1.28	0.25	3.23	1.51	0.20	4.11	16.95
	1.56	0.25	4.11	1.72	0.20	4.77	10.51
	3.52	0.25	10.27	3.86	0.20	11.50	7.99
	3.69	0.25	10.81	3.90	0.20	11.63	5.16
	5.92	0.25	17.82	6.08	0.20	18.48	2.57
	5.55	0.25	16.65	5.71	0.20	17.31	2.74
	6.23	0.25	18.79	6.41	0.20	19.51	2.65
	4.86	0.25	14.49	5.06	0.20	15.27	3.70
	7.62	0.25	23.16	7.78	0.20	23.82	1.98

注: C(KMnO<sub>4</sub>)=0.009 947 mol/L, S/V=6 dm<sup>2</sup>/1L。  
Note: C(KMnO<sub>4</sub>)=0.009 947 mol/L, S/V=6 dm<sup>2</sup>/1L。

表 3 不同加热至煮沸的时间的结果比对 ( 乳酸溶液 )  
Table 3 Comparison of results of different heating to boiling times (Lactic acid solution)

样品 编号	加热至煮沸的时间: 5 min			加热至煮沸的时间: 10 min			RSD/%
	滴定体积/mL	空白滴定体积/mL	结果/(mg/kg)	滴定体积/mL	空白滴定体积/mL	结果/(mg/kg)	
	0.39	0.25	0.44	0.65	0.21	1.38	73.04
	0.91	0.25	2.07	1.18	0.21	3.04	26.84
	1.53	0.25	4.02	1.81	0.21	5.02	15.64
	2.34	0.25	6.56	2.6	0.21	7.51	9.54
	2.88	0.25	8.26	3.23	0.21	9.494	9.82
	3.46	0.25	10.08	3.75	0.21	11.12	6.93
	5.25	0.25	15.71	5.55	0.21	16.78	4.65
	6.86	0.25	20.77	7.18	0.21	21.90	3.74
	8.45	0.25	25.77	8.73	0.21	26.78	2.71
	9.60	0.25	29.38	9.88	0.21	30.39	2.38

注: C(KMnO<sub>4</sub>)=0.009 947 mol/L, S/V=6 dm<sup>2</sup>/1L。  
Note: C(KMnO<sub>4</sub>)=0.009 947 mol/L, S/V=6 dm<sup>2</sup>/1L。

### 2.1.3 设备改进

根据上述验证实验,本实验室对自动滴定仪进行了改进,通过增大加热煮沸位置的加热功率,并增设预热位对浸泡液进行预热且使浸泡液温度保持在 60 °C,从而使加热至煮沸的时间缩短至 5 min 左右。为测试改进后的自动滴定仪的数据准确性,本实验室再次通过每个样品浸泡 200 mL 浸泡液进行浸泡,并分成 2 份,每份 100 mL,一份人工滴定,另一份由自动测定仪滴定,从而在控制相同浸泡液(测定液)的情况下进行数据验

证。结果如表 4 所示。

根据上表中的数据,可以发现,改进后的高锰酸钾自动滴定仪的滴定体积偏差减小,且测试结果的偏差已在可接受的范围内。为保证数据准确性,本文再次使用配置成一定浓度的乳酸溶液并通过相同实验步骤进行验证,结果如表 5 所示。

根据表 4 及表 5 的实验数据,可发现,先前高锰酸钾自动滴定仪与人工滴定的主要问题确实为不同加热至煮沸的时间导致,而改进后的高锰酸钾自动滴定仪的滴定体积偏差减小。

表4 人工滴定与设备滴定的第二次结果比对(样品)

Table 4 Comparison of the second result of manual titration with equipment titration (Samples)

样品 编号	人工滴定			自动滴定			RSD/%
	滴定体积/mL	空白滴定体积/mL	结果/(mg/kg)	滴定体积/mL	空白滴定体积/mL	结果/(mg/kg)	
	1.36	0.30	3.33	1.23	0.16	3.36	0.63
	2.21	0.30	6.00	2.04	0.16	5.90	1.18
	0.86	0.30	1.76	0.71	0.16	1.72	1.62
	3.69	0.30	10.65	3.58	0.16	10.74	0.59
	4.06	0.30	11.81	3.90	0.16	11.75	0.36
	1.06	0.30	2.38	0.93	0.16	2.42	1.17
	1.02	0.30	2.26	0.87	0.16	2.23	0.94
	0.53	0.30	0.72	0.40	0.16	0.75	2.88
	0.59	0.30	0.91	0.46	0.16	0.94	2.29
	6.21	0.30	18.57	6.13	0.16	18.76	0.71

注: C(KMnO<sub>4</sub>)=0.009 947 mol/L, S/V=6 dm<sup>2</sup>/1L。Note: C(KMnO<sub>4</sub>)=0.009 947 mol/L, S/V=6 dm<sup>2</sup>/1L.

表5 人工滴定与设备滴定的第二次结果比对(乳酸溶液)

Table 5 Comparison of the second result of manual titration with equipment titration (Lactic acid solution)

样品 编号	人工滴定			自动滴定			RSD/%
	滴定体积/mL	空白滴定体积/mL	结果/(mg/kg)	滴定体积/mL	空白滴定体积/mL	结果/(mg/kg)	
	0.36	0.28	0.25	0.26	0.17	0.28	8.00
	0.89	0.28	1.91	0.77	0.17	1.88	1.11
	1.51	0.28	3.86	1.42	0.17	3.92	1.09
	2.31	0.28	6.38	2.19	0.17	6.34	0.44
	2.82	0.28	7.98	2.70	0.17	7.95	0.26
	3.42	0.28	9.86	3.32	0.17	9.90	0.28
	5.31	0.28	15.81	5.22	0.17	15.87	0.26
	6.91	0.28	20.83	6.80	0.17	20.83	0.00
	8.41	0.28	25.55	8.29	0.17	25.52	0.08
	9.51	0.28	29.01	9.41	0.17	29.04	0.07

注: C(KMnO<sub>4</sub>)=0.009 947 mol/L, S/V=6 dm<sup>2</sup>/1L。Note: C(KMnO<sub>4</sub>)=0.009 947 mol/L, S/V=6 dm<sup>2</sup>/1L.

### 3 总结及展望

综上所述,基于颜色识别技术的COD自动测定仪在保持与传统的高锰酸钾消耗量实验方法原理相同、无需走实验方法偏离的情况下,实现自动化,提高检测效率。且改进后的COD自动测定仪与人工滴定法的数据相比较,在结果精密度、准确度均满足质控要求。随着工作节奏的加快,自动化设备及流程已运用于很多领域中<sup>[14-16]</sup>。相较于人工,自动化设备可以24 h不间断工作,大大提升工作及实验效率。但在食品接触材料的检测中,由于样品种类的多样性和复杂性,实验室自动化程度较低,基于颜色识别技术的COD

自动测定仪在一定程度上实现了食品接触材料检测中的部分自动化,大大提升了实验室的检测效率及检测周期。

#### 参考文献:

- [1] 曾展强,蔡潼玲,吴燕蕙,等.浅谈食品接触材料新国标下高锰酸钾消耗量的测定[J].广东化工,2019,46(4):162-163.  
ZENG Z Q, CAI T L, WU Y H, et. al. Determination of potassium permanganate consumption under new national standard for food contact materials[J]. Guangdong Chemical Industry, 2019, 46(4): 162-163.
- [2] 杨丽,王娟,黎群娣.食品接触塑料制品高锰酸钾消耗量测定影响因素探讨[J].食品工程,2012(1):41-43.  
YANG L, WANG J, LI Q D. Study on influencing factors of

- potassium permanganate consumption in Food contact plastic products[J]. Food Engineering, 2012(1): 41-43.
- [3] 杨建平, 王永香, 沈霞. 稀释倍数对食品包装纸中高锰酸钾消耗量的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(4): 1081-1085.  
YANG J P, WANG Y X, SHEN X. Effect of dilution ratio on potassium permanganate consumption in food wrapping paper [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(4): 1081-1085.
- [4] 常利超. 丁二烯装置危害因素分析及安全控制措施[J]. 石油化工安全环保技术, 2015, 31(4): 44-46+52+6.  
CHANG L C. Hazard analysis and safety control measures of butadiene plant[J]. Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology, 2015, 31(4): 44-46+52+6.
- [5] 食品安全国家标准 食品接触材料及制品 高锰酸钾消耗量的测定: GB 31604.2[S]. 中华人民共和国: 国家卫生和计划生育委员会, 2016.  
National Food Safety Standards Food Contact Materials and Products Determination of Potassium Permanganate Consumption: GB 31604.2[S]. the People's Republic of China: National Health and Family Planning Commission, 2016.
- [6] 杨建平, 李文慧, 张丽媛, 等. 食品接触材料中高锰酸钾消耗量的影响因素研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(21): 7158-7162.  
YANG J P, LI W H, ZHANG L Y, et. al. Study on the influence factors of potassium permanganate consumption in food contact materials[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(21): 7158-7162.
- [7] 高富强, 李岭, 安康. 基于 RGB 的颜色辨识系统设计[J]. 传感器与微系统, 2012, 31(10): 84-87.  
GAO F Q, LI L, AN K. Design of color identification system based on RGB[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2012, 31(10): 84-87.
- [8] 韦毅, 杨万海, 李红艳. 红外三维定位精度分析[J]. 红外, 2002(2): 11-14.  
WEI Y, YANG W H, LI H Y. Infrared 3d positioning accuracy analysis[J]. Infrared, 2002(2): 11-14.
- [9] 水质 高锰酸盐指数的测定: GB/T 11892[S]. 中华人民共和国: 国家环境保护局标准处, 1989.  
Water Quality Determination of Permanganate Index: GB/T 11892[S]. National Standards of the People's Republic of China: State Environmental Protection Bureau of Standards, 1989.
- [10] 生活饮用水输配水设备及防护材料的安全性评价标准: GB/T 17219[S]. 中华人民共和国: 中华人民共和国卫生部, 1998.  
Standard for Safety Evaluation of Equipment and Protective Materials for Drinking Water: GB/T 17219[S]. National Standards of the People's Republic of China: Ministry of Health of the People's Republic of China, 1998.
- [11] 李春田. 标准化概论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2005.  
LI C T. Introduction to standardization[M]. Beijing: China Renmin University Press, 2005.
- [12] OLIVARES I R B, SOUZA G B, NOGUEIRA A R A, et. al. Trends in developments of certified reference materials for chemical analysis - Focus on food, water, soil, and sediment matrices[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2018, 100.
- [13] 万春艳, 许庆鹏, 酆明浩. 食品接触用陶瓷制品铅溶出量的测定能力验证结果与分析[J]. 广东化工, 2021, 48(20): 239-241.  
WAN C Y, XU Q P, LI M H. Verification and analysis of determination ability of lead leaching from ceramic products for food contact[J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(20): 239-241.
- [14] 张晓妍. 智能技术在电气自动化中的应用[J]. 设备管理与维修, 2021(22): 126-127.  
ZHANG X Y. Application of intelligent technology in electrical automation[J]. Plant Maintenance Engineering, 2021(22): 126-127.
- [15] 陈月红, 张伟. 基于自动化实验室的水泥质量控制系统[J]. 四川水泥, 2022(1): 11-12+15.  
CHEN Y H, ZHANG W. Cement quality control system based on automatic laboratory[J]. Sichuan Cement, 2022(1): 11-12+15.
- [16] 袁媛. 临床微生物实验室自动化现状与进展[J]. 明日风尚, 2018(13): 374.  
YUAN Y. Current status and progress of clinical microbiology laboratory automation[J]. MING, 2018(13): 374. 完