

引用格式:李新民,罗学科,李文,等. 基于颜色检测的亚硝酸盐传感器设计[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2020, 47(6):79-84.

LI XinMin, LUO XueKe, LI Wen, et al. Design of a nitrite sensor based on colorimetry[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2020, 47(6):79-84.

# 基于颜色检测的亚硝酸盐传感器设计

李新民<sup>1</sup> 罗学科<sup>1,2\*</sup> 李文<sup>1</sup> 陈梦凡<sup>1</sup>

(1. 北方工业大学 机械与材料工程学院, 北京 100144; 2. 北京印刷学院 机电工程学院, 北京 102600)

**摘 要:** 针对水资源中亚硝酸含量自动连续在线检测系统的经济适用性、准确性和便携性要求, 基于比色法原理, 提出一种非接触式的液相溶解亚硝酸盐浓度检测方法。通过颜色检测设备对反应后溶液颜色进行识别, 建立检测信号和亚硝酸盐浓度之间的回归方程。实验结果表明: 在 5~30℃ 的环境下, 该传感器具有良好的稳定性, 测定系数  $R^2$  为 0.9989, 相对误差的最大值为 5.12%, 相对标准偏差的最大值为 6.77%; 水中亚硝酸盐检测传感器所测数据与商用传感器检测数据的最大相对误差为 2.76%。该传感器成本低、结构简单、响应时间短, 适用于低浓度亚硝酸盐的快速检测。

**关键词:** 比色法; 亚硝酸盐; 经济性; 颜色检测

**中图分类号:** TP182; TP277 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2020.06.010

## 引 言

亚硝酸盐作为环境污染物的一种, 遍布在自然界的地表水和地下水中, 严重影响着人类生活<sup>[1]</sup>。在国家环保政策的倡导下, 饮用水和食品安全越来越受到人们的重视。亚硝酸盐属于一类无机化合物, 微量的亚硝酸盐化合物也可能会引发食物中毒, 食入 0.3~0.5 g 的亚硝酸盐, 严重者可能致死。因此, 严格控制亚硝酸盐在生活用水和食品中的含量是食品卫生监督部门工作的重要内容, 也是必须引起消费者重视的食品安全问题<sup>[2]</sup>。

针对亚硝酸盐现有多种检测方法, 包括吸光光度法、紫外分光光度法、荧光法、色谱法、电化学法等, 其中吸光光度法分为盐酸萘乙二胺分光光度法和酚二磺酸分光光度法<sup>[3]</sup>, 经典的分光光度法仪器操作简单, 具有一定的实用性且价格低廉。赵萍等<sup>[4]</sup>采用在线镉柱还原-流动注射分析法对硝酸盐和亚硝酸盐进行监测, 方法便捷, 检测精度高, 能够

同时检测水中的亚硝酸盐和硝酸盐; 方力等<sup>[5]</sup>提出了用均匀设计法检测水中的硝酸盐和亚硝酸盐, 其操作简单, 适用于饮用水的检测。荧光法发展还不完善, 且检测费用相对较高。杨喜民等<sup>[6]</sup>建立了荧光分光光度法来测定血液中的硝酸盐浓度, 但检测精度比较低。色谱法发展时间较长, 其特点是快速、简便、准确且灵敏度高<sup>[1]</sup>, 但检测仪器比较昂贵。电化学法包括离子选择电极法、极谱法和毛细管电泳法等<sup>[7]</sup>, 但这些方法对检测结果的影响因素较多。

本文针对亚硝酸盐检测的准确性和自动连续在线检测需求, 基于比色法原理, 设计了以颜色检测设备为检测媒介的亚硝酸盐传感器; 该方法不仅满足了食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定要求, 而且理论上可以在不同溶剂中进行亚硝酸盐浓度的检测, 其操作简便、成本低、仪器结构简单, 实现了亚硝酸盐传感器的便携性和检测的快速性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂与仪器

氨基苯磺酸 ( $C_6H_7NO_3S$ ) 溶液, 浓度 12 mol/L, 北京世纪奥科生物技术有限公司;  $\alpha$ -萘胺 ( $C_{10}H_9N$ ), 分析纯, 亚硝酸盐溶液, 165  $\mu\text{g/mL}$ , 去离子水, 北京仪化通标科技有限公司; 浓盐酸, 质量分数 37%, 唐山市

收稿日期: 2020-02-10

基金项目: 国家自然科学基金(51205005); 北京市科技创新服务能力建设项目(PXM2017-014212-000013)

第一作者: 男, 1991 年生, 硕士生

\* 通信联系人

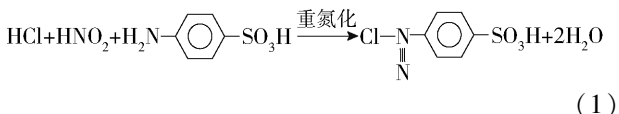
E-mail: luoxueke@ncut.edu.cn

丰南区尚德商贸有限公司。

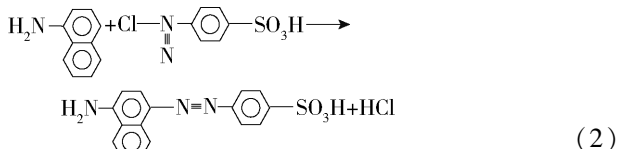
KX-17018 型恒温水箱,水温控制范围 5 ~ 100 ℃,金坛市科析仪器有限公司;亚硝酸盐传感器,自制;JF-NO<sub>2</sub>-485 型亚硝酸盐传感器,检测范围 0 ~ 20 × 10<sup>-6</sup>,上海景飞环保科技有限公司;BJ-RZ1030 型蠕动泵,流量范围 0 ~ 170 mL/min,Smart SV-04 型阀岛,6 通道,南京润泽流体控制设备有限公司;4v210-08 型电磁阀,正泰集团股份有限公司;TCS3200 颜色传感器,深圳市微雪电子有限公司;自制反应池,25 mL。

## 1.2 检测原理

利用亚硝酸盐与对氨基苯磺酸酸性溶液发生反应,酸性环境中亚硝酸根离子将对氨基苯磺酸的氨基重氮化,生成重氮盐,反应方程式为



再利用式(1)的反应物重氮盐与 α-萘胺酸性溶液发生偶联反应,生成偶氮化合物,偶合部位在 α-萘胺的氨基邻位,反应方程式为



经过上述两步反应后,溶液呈紫红色。从反应式(1)、(2)可以得出,亚硝酸盐的浓度与偶氮化合物浓度成正比。因此,利用颜色检测设备对反应后的偶氮化合物进行检测,得出浓度与颜色之间的线性关系,从而间接得出亚硝酸盐的浓度。颜色检测设备能够静态识别物体颜色,不同颜色输出不同频率方波,不同的频率对应相应三原色(RGB)的值。利用颜色传感器对不同色光的滤波器特性,过滤除红色以外的光,即可读出溶液的颜色值。不同颜色值与亚硝酸盐浓度之间存在线性关系,通过建立数学模型得出亚硝酸盐浓度,检测原理如图 1 所示。

## 1.3 实验溶液制备

取浓盐酸用去离子水稀释,配制成浓度为 2.4 mol/L 的稀盐酸溶液;取配制的稀盐酸溶液作为溶剂,氨基苯磺酸作为溶质,配制成质量浓度为 4 mg/mL 的氨基苯磺酸酸性溶液;以稀盐酸溶液为溶剂,α-萘胺为溶质,配制成质量浓度 2 mg/mL 的 α-萘胺酸性溶液。取标准亚硝酸盐试剂配成质量浓度分别为 0.050、0.075、0.100、0.125、0.150、0.175、

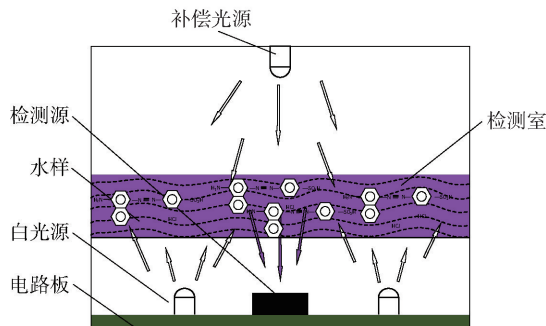


图 1 亚硝酸盐的检测原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of nitrite detection

0.200、0.225、0.250、0.275、0.300 mg/L 的亚硝酸盐溶液。

## 1.4 系统设计

### 1.4.1 传感器结构设计

亚硝酸盐传感器结构分为 3 层:下层放置颜色检测设备和信号传输线,用来将检测到的 RGB 颜色的频率信号输出至数据采集板;中间层主要是玻璃材料的反应池,用于试剂反应和数据检测;顶层为检测背景,选择白光作为补偿光源置于中心位置。亚硝酸盐传感器的三维结构如图 2 所示。

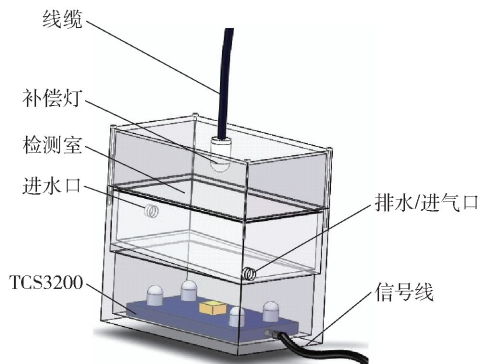


图 2 亚硝酸盐传感器三维结构图

Fig. 2 Three-dimensional structure diagram of the nitrite sensor

首先将水样通过进水口抽入反应池中,再将配制好的对氨基苯磺酸酸性溶液抽入反应池中,在此过程中水样里的亚硝酸根与对氨基苯磺酸发生重氮化反应,生成重氮盐;待第一阶段反应结束后,将 α-萘胺酸性溶液抽入反应池中,完成重氮盐与 α-萘胺溶液的偶联反应;颜色检测设备将检测出的稳定数据传给采集板,检测结束。

### 1.4.2 亚硝酸盐检测流程设计

整个系统的检测装置以蠕动泵为动力源,定量向反应池中抽入反应所需的对氨基苯磺酸酸性溶液和 α-萘胺酸性溶液试剂。系统中加入定量装

置,以避免反应池中溶液过量。颜色检测设备将数据传输至采集板,经数据换算后,再将亚硝酸盐浓度值通过串口传送到上位机。上位机采用 LabVIEW 编程,不仅能将数据储存到数据库中,还可以通过 TCP/IP 将数据上传到网络服务端,以供其他设备提取。亚硝酸盐的在线检测结构设计如图 3 所示。整个过程可实现自动连续在线检测的要求,检测周期设定为 1 h。

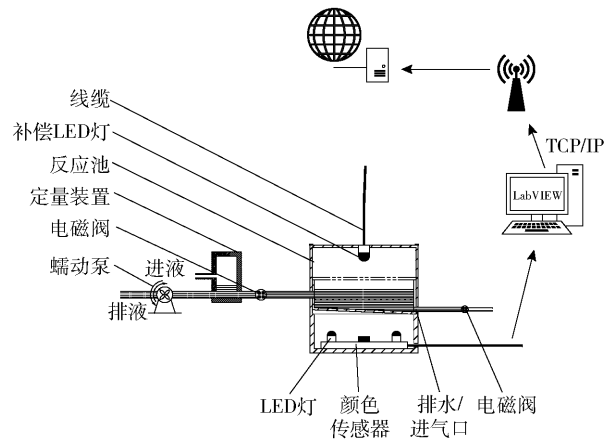


图 3 亚硝酸盐在线检测结构图

Fig. 3 Structure diagram of online detection of nitrite

亚硝酸盐的检测流程图如图 4 所示。首先清洗检测室内的残留物质,为防止清洗时残留清水稀释水样,保证检测的准确性,需要用水样润洗检测室。使用高精度注射泵控制水样的进液量为 10 mL,调节阀岛,转换到试剂 1 进液口,向检测室内注入 3 mL 氨基苯磺酸;等待进液完毕后,调节阀岛,转换到进气口,向检测室内吹入空气,达到搅拌效果,使亚硝酸根与氨基苯磺酸完全反应。5 min 后,调节阀岛,转换到试剂 2 进液口,向检测室内注入 3 mL  $\alpha$ -萘胺,搅拌 10 min;待重氮盐与  $\alpha$ -萘胺充分反应后,使用颜色检测设备读取检测室中的颜色值<sup>[8]</sup>,传递到采集板。数据通过 RS485 串口发送给上位机。经过上位机处理的数据一部分通过 TCP/IP 上传到网络服务器,另一部分储存到数据库中。待检测结束后,排空检测室中的水样并清洗检测室为下次检测作准备。

2 实验结果与分析

2.1 实验建模

在常温常压条件下,依次检测质量浓度为 0.05、0.075、0.10、0.125、0.15、0.175、0.20、0.225、0.25、0.275、0.30 mg/L 的亚硝酸盐标准溶液,并进

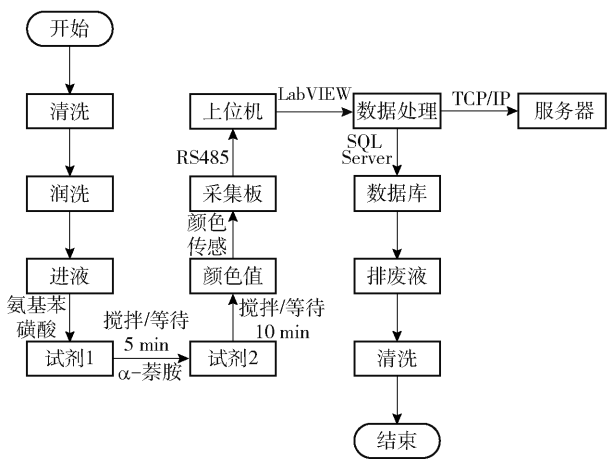


图 4 亚硝酸盐检测流程图

Fig. 4 Flow chart of nitrite detection

行 6 组实验后取平均值(颜色检测设备输出的为频率值  $f$ , kHz),如表 1 所示。

表 1 实验测试值及平均值

标准值/ (mg·L <sup>-1</sup> )	测试值/kHz						平均 值/kHz
	测量 1	测量 2	测量 3	测量 4	测量 5	测量 6	
0.050	11.708	12.361	12.256	12.698	12.476	12.144	12.274
0.075	16.422	15.522	15.027	15.832	15.271	15.526	15.600
0.100	17.627	17.627	17.691	17.648	17.606	17.564	17.627
0.125	20.346	19.614	20.526	22.147	21.961	21.227	20.970
0.150	22.893	22.893	23.904	23.441	23.161	22.634	23.155
0.175	25.758	25.242	25.705	25.200	25.174	25.052	25.355
0.200	27.254	26.727	29.170	28.686	29.144	29.318	28.383
0.225	30.361	29.855	31.961	31.656	31.456	31.056	31.057
0.250	31.572	31.056	34.215	34.152	33.237	31.786	32.670
0.275	35.605	35.763	33.857	33.752	34.446	35.510	34.822
0.300	36.121	36.343	37.027	37.449	37.045	37.598	36.931

依据表 1 检测数据,对 6 次实验数据平均值与标准溶液质量浓度值进行拟合。以检测数据平均值为横坐标、标准溶液质量浓度  $\rho$  为纵坐标绘制曲线,如图 5 所示。在标准曲线绘制过程中,对不同质量浓度的亚硝酸盐溶液进行检测,从而得出利用颜色检测设备检测出的频率值与标准试剂质量浓度值之间关系。

数据模型为

$$\rho = 8 \times 10^{-5} f^2 + 0.0063 f - 0.0392 \quad (3)$$

测定系数  $R^2 = 0.9989 > 0.9$ 。

实验检测数据如表 2 所示。根据 GB/T 5009.33—2008《食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测

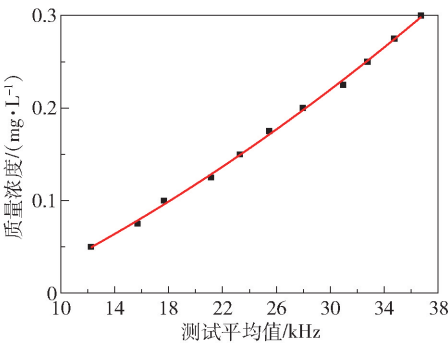


图5 实验平均值与标准质量浓度值拟合曲线

Fig. 5 Fitting curve of experimental average and standard concentration values

表2 拟合值及其他数据统计参数对照

Table 2 Comparison of fitted values and other statistical parameters

标准值/ (mg·L <sup>-1</sup> )	拟合值/ (mg·L <sup>-1</sup> )	相对 误差/%	精度/ %	RSD/ %
0.050	0.049	1.55	1.70	5.00
0.075	0.077	2.86	3.08	4.95
0.100	0.095	5.12	1.89	0.36
0.125	0.126	0.53	4.02	6.77
0.150	0.147	2.24	2.81	2.80
0.175	0.169	3.66	3.16	1.65
0.200	0.200	0.08	5.77	5.37
0.225	0.229	1.85	4.73	3.56
0.250	0.247	1.08	6.97	5.77
0.275	0.272	1.10	5.16	3.58
0.300	0.297	1.03	4.26	2.17

定》<sup>[9]</sup>、HJ/T 197—2005《水质 亚硝酸盐氮的测定》<sup>[10]</sup>中对亚硝酸盐的检测指标,对相对误差、精度、重复性即相对标准偏差(RSD)等检测数据进行处理,各指标的计算公式如下。

相对误差

$$\delta = \frac{|\rho^* - \rho_{\text{标}}|}{\rho_{\text{标}}} \times 100\%$$
 (4)

式中, $\delta$ 为相对误差; $\rho^*$ 为质量浓度测量值; $\rho_{\text{标}}$ 为质量浓度标准值。

重复性

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2}{n - 1}}, i, n = 1, 2, 3 \cdots$$
 (5)

$$s_t = \frac{s}{\bar{\rho}} \times 100\%$$
 (6)

式中, $s$ 为标准差; $\rho_i$ 为第*i*次质量浓度测量值; $\bar{\rho}$ 为*n*次测量的平均质量浓度值; $s_t$ 为标准偏差值。

精度

$$\sigma = \frac{\max |\rho^* - \rho_{\text{标}}|}{\rho'} \times 100\%$$
 (7)

式中, $\sigma$ 为传感器测试精度; $\rho'$ 为传感器量程值。

从表2可以看出,拟合值与标准试剂值相对误差的最大值为5.12%,精度最大值为6.97%,相对标准偏差的最大值为6.77%,能够满足GB/T 5009.33—2008《食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》要求。

2.2 对比实验验证

为验证该亚硝酸盐传感器对实际水样检测的准确性,使用由上海景飞环保科技有限公司生产的亚硝酸盐传感器(JF-NO2-485)作对比实验。取实验室自来水,加入不同浓度的低浓度亚硝酸盐试剂,在相同条件下进行6组对比实验,表3为所得实验数据。

表3 验证实验数据参数对照

Table 3 Parameter comparison for verification of experiment data

实验序号	对比数据/ (mg·L <sup>-1</sup> )	测试数据/ (mg·L <sup>-1</sup> )	相对误差/ %
第1组	0.076	0.074	2.63
第2组	0.143	0.140	2.10
第3组	0.181	0.186	2.76
第4组	0.238	0.242	1.68
第5组	0.264	0.258	2.27
第6组	0.322	0.300	6.83

由于该传感器检测上限为0.30 mg/L,因此第6组实验数据无效。由表3可以得出,与亚硝酸盐传感器(JF-NO2-485)对比,本文仪器相对误差的最大值为2.76%。

2.3 稳定性实验

为验证所设计传感器的稳定性,调节恒温水浴箱温度分别为5、10、15、20、25、30℃,分别检测质量浓度为0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 mg/L的亚硝酸盐标准试剂,每个温度下连续测试4组并取平均值,结合稳定性计算公式可得表4。

稳定性计算公式为

$$\alpha = \frac{\rho_{\text{max}} - \rho_{\text{min}}}{\rho_{\text{标}}} \quad (8)$$



表 4 不同温度下亚硝酸盐检测值  
Table 4 Nitrite detection values at different temperatures

标准值/ (mg·L <sup>-1</sup> )	检测值/(mg·L <sup>-1</sup> )						最大相对 误差/%	稳定值
	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃		
0.05	0.048	0.050	0.049	0.053	0.049	0.050	5.72	0.099
0.10	0.095	0.095	0.097	0.094	0.098	0.094	2.00	0.040
0.15	0.144	0.144	0.154	0.149	0.144	0.152	2.69	0.066
0.20	0.198	0.193	0.209	0.203	0.198	0.195	4.26	0.079
0.25	0.245	0.259	0.255	0.264	0.242	0.252	5.65	0.089
0.30	0.287	0.290	0.298	0.303	0.302	0.289	1.04	0.053

式中,α 为稳定值;ρ<sub>min</sub>为测试最小质量浓度值;ρ<sub>max</sub>为测试最大质量浓度值。

由表 4 可以得出,当温度在 5 ~ 30℃ 之间时,质量浓度检测的最大相对误差为 5.72%,最大稳定值为 0.099。

2.4 干扰因素分析

经实验测试,得出干扰因素如下:①水中含有其他悬浮物对光学检测的精度造成影响;②颜色传感器的光源衰减会影响溶液颜色检测的准确度,最终增大亚硝酸盐检测误差;③检测时,外界自然光对颜色传感器的干扰;④实验试剂的保质期有限,变质的试剂影响检测精度;⑤进液管中滞留的溶液将会造成其他试剂的污染;⑥颜色传感器的光照强度有限,当亚硝酸盐浓度相差不大时,很难做到精准分辨。

针对以上干扰因素,提出应对措施如下:①在检测前对水样进行预处理,过滤水样中的悬浮物和溶液中的颗粒物等<sup>[11]</sup>,以减少水中其他悬浮物对光学检测精度造成的影响;②为保证颜色检测设备的准确性,需定期对颜色检测设备作白平衡校正;③检测室的设计是封闭的,应保证在黑暗环境下检测,避免外界自然光的干扰;④为实现连续在线检测,将预配制好的反应试剂存放在恒温箱内,有效使用期限为一周,试剂需在有效期内更换,以保证其连续检测的功能;⑤在进样、添加试剂等流程结束后,控制阀岛转到进气口,需抽取小段空气,以实现水样与试剂、试剂与试剂之间的隔绝;⑥当亚硝酸盐浓度相差不大时,为提高检测的准确性和提高分辨率,需添加白光对颜色传感器进行补光处理。

3 结论

基于比色法原理设计了一种非接触式的液相溶

解亚硝酸盐浓度检测仪器,实验结果表明该仪器经修正后曲线的测定系数为 0.9989,相对误差的最大值为 5.12%,完全能够满足水中亚硝酸盐的测定要求;配合上位机数据存储和网络传输,实现了水中亚硝酸盐的在线连续检测,降低了成本,提高了检测精度。

参考文献:

[1] 孙冬梅,张新申,许鹏飞. 环境水体中硝酸盐检测方法研究[J]. 皮革科学与工程, 2009, 19(5): 36-38. SUN D M, ZHANG X S, XU P F. Research on determination methods of nitrate in environmental water [J]. Leather Science and Engineering, 2009, 19(5): 36-38. (in Chinese)

[2] 李佳. 水产养殖中亚硝酸盐的来源、危害及防治[J]. 河北渔业, 2015(10): 81-82. LI J. Source, harm and prevention of nitrite in aquaculture [J]. Hebei Fisheries, 2015(10): 81-82. (in Chinese)

[3] 姚运先. 环境监测技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 23-44. YAO Y X. Environmental monitoring technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 23-44. (in Chinese)

[4] 赵萍,陈金辉,肖靖泽. 在线镉柱还原-流动注射分析法测定水中硝酸盐/亚硝酸盐氮[J]. 生命科学仪器, 2007, 5(6): 19-22. ZHAO P, CHEN J H, XIAO J Z. Determination of nitrate and nitrite in waters by on-line cadmium reduction flow injection analysis [J]. Life Science Instruments, 2007, 5(6): 19-22. (in Chinese)

[5] 方力,张燕,丁佳,等. 紫外分光光度法同时测定硝酸盐氮和亚硝酸盐氮[J]. 分析测试技术与仪器, 1999, 5(3): 142-146. FANG L, ZHANG Y, DING J, et al. Ultraviolet spec-

- troscopy applied to simultaneous determination of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NO}_2^-$ -N [J]. *Analysis and Testing Technology and Instruments*, 1999, 5(3): 142–146. (in Chinese)
- [6] 杨喜民, 李拴德, 杨术真, 等. 荧光分光光度法测定血清亚硝酸盐与硝酸盐[J]. *临床检验杂志*, 1997, 15(6): 339–340.
- YANG X M, LI S D, YANG S Z, et al. Fluorescence spectrophotometric determination of serum nitrite and nitrate [J]. *Chinese Journal of Clinical Laboratory Science*, 1997, 15(6): 339–340. (in Chinese)
- [7] 姜国萍, 孙萍, 朱日然. 染色中药添加色素的检测技术研究进展[J]. *时珍国医国药*, 2015, 26(3): 694–696.
- JIANG G P, SUN P, ZHU R R. Research progress on detection technology of pigments added to dyed traditional Chinese medicine [J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2015, 26(3): 694–696. (in Chinese)
- [8] 微雪电子. Color Sensor 用户手册[EB/OL]. (2015–08–15) [2020–02–03]. <http://www.waveshare.net/w/upload/6/60/Color-Sensor-UserManual.pdf>. Waveshare Electronics. Color sensor user manual [EB/OL]. (2015–08–15) [2020–02–03]. <http://www.waveshare.net/w/upload/6/60/Color-Sensor-UserManual.pdf>. (in Chinese)
- [9] 中华人民共和国卫生部. 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定: GB/T 5009.33—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- National Health Commission of the People's Republic of China. Determination of nitrite and nitrate in foods: GB/T 5009.33—2008 [S]. Beijing: China Standards Press, 2008. (in Chinese)
- [10] 国家环境保护总局. 水质 亚硝酸盐氮的测定: 气相分子吸收光谱法: HJ/T 197—2005 [S]. 北京: 中国环境出版社, 2005.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Water quality—Determination of nitrite-nitrogen by gas-phase molecular absorption spectrometry: HJ/T 197—2005 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2005. (in Chinese)
- [11] 李文, 吕赫, 徐明刚, 等. 多量程原位水质总磷总氮一体式在线监测仪[J]. *发光学报*, 2019, 40(7): 930–940.
- LI W, LYU H, XU M G, et al. Multi-range in-situ water quality total phosphorus total nitrogen integrated online monitor [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2019, 40(7): 930–940. (in Chinese)

## Design of a nitrite sensor based on colorimetry

LI XinMin<sup>1</sup> LUO XueKe<sup>1,2\*</sup> LI Wen<sup>1</sup> CHEN MengFan<sup>1</sup>

(1. Institute of Mechanical and Material Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

**Abstract:** In view of the economic applicability, accuracy and portability of intelligent automatic continuous on-line determination systems for nitrite concentration in water resources, a non-contact liquid phase method for determination of dissolved nitrite concentration based on the colorimetric-principle has been proposed. The color of the solution after the reaction was determined by a colorimeter device, and a regression equation between the detection signal and the concentration of nitrite was established. The experimental results show that in the temperature range 5–30 °C, the sensor has good stability, the coefficient of determination  $R^2$  is 0.9989, the maximum value of the relative error is 5.12%, and the maximum value of the relative standard deviation (RSD) is 6.77%. The maximum relative error between the measured data of the liquid nitrite detection sensor and a commercial sensor was 2.76%. The sensor has low cost, a simple structure and fast response time, making it suitable for the rapid determination of low nitrite concentrations.

**Key words:** colorimetric method; nitrite; economy; color detection

(责任编辑: 吴万玲)