

## 学科交叉视域下高锰酸钾法测定水样中化学需氧量实验的设计与实践

刘晓红\*, 李姝, 叶世海, 楼兰兰

南开大学材料科学与工程学院, 天津 300350

**摘要:** 新工科背景下的复合型人才需要学科的交叉融合。以学科交叉为切入点, 对无机及分析化学实验课程实验教学进行了改革和实践。以校内自来水和生活污水作为测试对象, 采用高锰酸钾法测定了水样的化学需氧量。通过实验旨在提高学生的实践动手能力、跨学科思维能力、数据收集计算能力以及解决实际问题能力, 增强学生环境保护意识, 适合为化学、环境工程和资源循环科学与工程等专业学生开课。问卷调查发现, 学生和教师对该实验内容都给予了高度评价, 教学实践效果良好。

**关键词:** 化学需氧量; 高锰酸钾法; 无机及分析化学实验; 学科交叉融合; 实验教学改革

**中图分类号:** G64; O6

## Design and Practice of the Experiment on the Determination of Chemical Oxygen Demand in Water Samples by Potassium Permanganate Method under the Interdisciplinary Perspective

Xiaohong Liu\*, Shu Li, Shihai Ye, Lanlan Lou

School of Materials Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China.

**Abstract:** The cultivation of comprehensive talents in the field of modern engineering requires interdisciplinary integration. Using interdisciplinary integration as the starting point, reform and practice of experimental teaching was conducted in the inorganic and analytical chemistry experiment course. Using the tap water and domestic sewage in the campus as the object of this study, the chemical oxygen demand was measured using the potassium permanganate method. The experimental aims were to improve the interdisciplinary thinking, data calculation, and practical problem-solving abilities of the students and to enhance their awareness of environmental protection, which is desirable for students majoring in chemistry, environmental engineering, and resource cycle science and engineering. The questionnaire revealed that students and teachers gave a high evaluation to the experimental content, and the experiment achieved good teaching practice results.

**Key Words:** Chemical oxygen demand; Potassium permanganate method; Inorganic and analytical chemistry experiment; Interdisciplinary integration; Experimental teaching reform

实验教学是高校本科教学的重要组成部分<sup>[1-3]</sup>, 是培养学生动手实践能力、观察记录实验现象能力、数据处理能力、创新思维和科学素养的重要途径<sup>[4-8]</sup>, 在人才培养过程中起着不可替代的基础作

收稿: 2023-03-09; 录用: 2023-04-07; 网络发表: 2023-04-13

\*通讯作者, Email: xhliu@nankai.edu.cn

基金资助: 国家自然科学基金(21703108); 南开大学2022年实验教学改革项目(22NKSJYC04); 南开大学材料科学与工程学院2021年本科教育教学改革项目

用<sup>[9]</sup>。实验训练对于培养学生的实践操作技能、安全意识和严谨的科学态度起着重要作用<sup>[10]</sup>,是学生学习后续实验课程的关键环节,也是工作中解决实际技术难题的基础。南开大学津南校区化学国家级实验教学示范中心(以下简称“中心”),配合学校在本科教学中培养多学科交叉复合型人才的教育目标,在本科实验教学中积极探索与尝试先进的教学理念与方法<sup>[11-13]</sup>。

中心开设的无机及分析化学实验课程多年来是面向化学、环境工程、资源循环科学与工程、材料化学、材料物理和药学等专业学生的第一门专业必修实验课程,此课程与各专业课相互渗透,具有承上启下的重要作用。近年来学校实行大类招生培养,此课程是理科试验班类(物质科学与可持续发展)学生入学后的首门专业必修实验课程。学生通过学习此课程中的基础实验可获得感性认识,加深并巩固对化学基础理论和基本概念的理解。然而,此课程原有内容与潜在的环境类专业学生的专业发展存在不相匹配问题,所以中心在保证原有课程内容系统性和层次性基础上,新增加一个具有化学与环境知识交叉背景的5课时的“水样中化学需氧量的测定(KMnO<sub>4</sub>法)”分析化学实验。在此实验课堂教学中,在灵活地将化学与环境学科内容进行交叉融合教学时,可以从水质安全问题入手,以如何判断水质安全为切入点,借助氧化还原反应基本原理解释实验现象和实验原理,讲原理的同时融入环保意识,进而让学生树立“绿水青山就是金山银山”的可持续发展观,激发学生利用专业知识解决实际问题的兴趣,提升其专业学习认同感与自豪感。还能使其在实践中充分理解通过在不同学科领域中的深入研究和不断探索,构建完善的知识结构,掌握扎实的基础知识和基本技能,才能为将来更好地服务社会打下坚实的基础,进而为国家科学技术的卓越发展贡献自己的一份力量。在接下来的实验教学中,将基础理论知识与专业的实验操作技能培养紧密结合,在引导学生根据实验结果计算出水样的化学需氧量过程中,培养学生严谨求实的科学态度,通过比较日常生活废水与实验室自来水的化学需氧量值,使学生能够站在环境保护和可持续发展的角度思考环境工程领域的可持续问题,通过亲身体验,深刻理解节约水资源和不乱倾倒废液的重要性,并引入典型思政案例,进一步增强学生保护环境的意识。如上海交通大学的孔海南教授带领上海交通大学湖泊富营养化治理教师团队,以实际行动坚持“把科研论文写在祖国大地上”,通过把书本化学知识转化为解决实际问题的办法,让水质严重恶化的洱海又重现了昔日大理“母亲湖”的风采<sup>[14]</sup>。此高锰酸钾法测定水样的化学需氧量实验取得了良好的教学实践效果,提高了学生的实践能力、数据收集计算能力、创新能力、跨学科综合思维能力<sup>[15]</sup>以及运用化学专业知识解决环境领域实际问题的能力,有效促进了具有扎实理论基础、多学科背景知识和突出实践能力的复合型人才的培养。

## 1 中心开设的无机及分析化学实验课程教学现状

中心开设的无机及分析化学实验课程共计68学时一学期,每个教学班约有30名学生,原有实验项目包括5个无机化学实验和6个分析化学实验(表1)。为了提高本课程内容的多学科交叉融合性,激发具有不同学科背景学生的学习兴趣,培养学生的自主学习、探究实践以及创新能力,中心于2022-2023学年第一学期新增加一个“水样中化学需氧量的测定(KMnO<sub>4</sub>法)”分析化学实验。

表1 中心开设的无机及分析化学实验课程原有实验内容汇总

| 实验序号 | 无机化学实验     | 实验序号 | 分析化学实验            |
|------|------------|------|-------------------|
| 1    | 硫酸铝钾的制备    | 6    | 酸碱滴定操作练习          |
| 2    | 氯化钠的提纯     | 7    | 有机酸摩尔质量的测定        |
| 3    | 硫酸亚铁铵的制备   | 8    | 天然水总硬度的测定         |
| 4    | 碳酸钠的制备     | 9    | 返滴定法测未知物中的铝含量     |
| 5    | 三草酸合铁酸钾的制备 | 10   | 过氧化氢含量的测定         |
|      |            | 11   | 重铬酸钾法测可溶性铁样品中的铁含量 |

## 2 水样中化学需氧量的测定(KMnO<sub>4</sub>法)实验教学设计与实践

### 2.1 实验项目设计背景

化学需氧量(Chemical oxygen demand, 简称COD)的大小通常可作为反映水体中有机化合物及无机还原性物质污染程度的一项重要指标。COD值越高, 说明水体污染越严重<sup>[16]</sup>。COD的测定有酸性高锰酸钾法<sup>[17,18]</sup> (适于地表水、地下水、饮用水、生活用水等较为清洁的水体中COD的测定)、碱性高锰酸钾法<sup>[17,19]</sup> (适于高Cl<sup>-</sup>水体, 如海水)和重铬酸钾法<sup>[20]</sup> (适于工业污水及生活污水中含有较多成分复杂的污染物质的水质)。本实验可在5课时内完成, 通过让学生测定水样中的COD值, 使学生在实践训练过程中夯实氧化还原滴定分析方法的基础理论, 掌握一种评价水体污染程度的实验方法, 具备一定评判水质污染程度的能力。

### 2.2 实验原理及教学目标

#### 2.2.1 实验原理

COD是指在一定的条件下, 采用一定的强氧化剂处理水样中的还原性物质(包括有机物、亚硝酸盐、硫化物和亚铁盐等)时, 所消耗的氧化剂量折算成氧气的量<sup>[21]</sup>, 单位为mg·L<sup>-1</sup>。测定COD的方法中, 酸性KMnO<sub>4</sub>法简便快速, 是在酸性条件下用过量的高锰酸钾溶液( $V_1$ )将水样中多数有机化合物及无机还原性物质氧化, 剩余的高锰酸钾溶液用定量且过量( $V_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ )的草酸钠溶液还原, 剩余的草酸钠溶液再用高锰酸钾溶液返滴定( $V_2$ )至溶液呈微红色。根据实验数据, 可计算出水样的化学需氧量, 从而可判断水样的污染程度。水样中的化学需氧量的计算公式<sup>[21]</sup>如下:

$$\text{COD (O}_2, \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}) = \frac{[5\bar{c}_{\text{KMnO}_4}(V_1 + V_2) - 2c_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}V_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}] \times M_{\frac{1}{4}\text{O}_2} \times 1000 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}}{V_{\text{水样}}}$$

式中,  $V_1$ 、 $V_2$ 分别为KMnO<sub>4</sub>的加入体积和返滴定过量的Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>时消耗的体积, 单位为mL;  $\bar{c}_{\text{KMnO}_4}$ 为KMnO<sub>4</sub>溶液的平均浓度,  $c_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ 表示Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>标准溶液的浓度, 单位为mol·L<sup>-1</sup>;  $V_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ 表示一次性加入的Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>标准溶液的体积, 单位为mL;  $M_{\frac{1}{4}\text{O}_2}$ 为氧( $\frac{1}{4}\text{O}_2$ )的摩尔质量, 8.00 g·L<sup>-1</sup>。根据有关实验数据, 可计算出水样中的COD值。

#### 2.2.2 实验教学目标

(1) 掌握高锰酸钾溶液的配制及用草酸钠作基准物质标定其准确浓度的方法, 掌握草酸钠标准溶液的配制方法, 培养学生减量法称量、移液、定容、滴定等基本操作技能。

(2) 掌握化学需氧量的定义和高锰酸钾法测定化学需氧量的基本原理和实验方法, 能用滴定数据计算出水样的化学需氧量。

(3) 理解水样中化学需氧量测定的必要性, 体会化学知识在解决环境实际问题中的应用, 培养学生实事求是的科学态度, 理论联系实际、分析解决问题和跨学科思维的能力, 增强学生环境保护意识。

### 2.3 实验项目教学设计

#### 2.3.1 主要实验设备

50 mL聚四氟酸式滴定管(A级); 容量瓶(250 mL); 烧杯(100 mL, 250 mL); 移液管(10 mL, 25 mL); 锥形瓶(250 mL); 称量瓶; 分析天平; 加热磁力搅拌器。

#### 2.3.2 实验试剂

高锰酸钾(分析纯); 草酸钠(分析纯); 硫酸溶液(1:3, 约4.5 mol·L<sup>-1</sup>); 水样。

#### 2.3.3 实验操作步骤

(1) KMnO<sub>4</sub>溶液的配制与标定。

称取 $m_{\text{KMnO}_4}$  g的高锰酸钾固体于棕色试剂瓶中, 加入500 mL蒸馏水, 置于暗处静置一周后备用。

准确称取 $m_{1,\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$  g在0.1500–0.2000 g范围的 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 三份, 分别置于250 mL锥形瓶中, 各加入85 mL蒸馏水使其溶解, 加热至溶液中有蒸气冒出, 加入20 mL 1:3硫酸溶液, 趁热用 $\text{KMnO}_4$ 溶液进行滴定。滴定初, 当第一滴 $\text{KMnO}_4$ 溶液的紫红色完全褪去后, 再滴入第二滴 $\text{KMnO}_4$ 溶液, 滴定过程中溶液温度需保持在70–80 °C。接近终点时,  $\text{KMnO}_4$ 溶液紫红色褪去较慢, 应减慢滴定速率, 并充分摇匀, 当滴入半滴或一滴 $\text{KMnO}_4$ 溶液, 充分摇匀后溶液呈微红色且在30 s内不褪色即为滴定终点。记录消耗的 $\text{KMnO}_4$ 溶液体积, 平行测定三次。计算 $\text{KMnO}_4$ 溶液的浓度平均值及相对平均偏差:

$$\bar{d}_r = (\sum_{i=1}^3 |c_i - \bar{c}_{\text{KMnO}_4}| / 3\bar{c}_{\text{KMnO}_4}) \times 100\%$$

式中 $c_i$ 为第 $i$ 次标定出的 $\text{KMnO}_4$ 溶液的浓度, 单位为 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $\bar{c}_{\text{KMnO}_4}$ 为 $\text{KMnO}_4$ 溶液的平均浓度, 单位为 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

### (2) 草酸钠标准溶液的配制。

准确称取 $m_{2,\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$  g的草酸钠固体于100 mL洁净的烧杯中, 加100 mL蒸馏水溶解, 再加入1 mL 1:3硫酸溶液, 定量转移入250 mL容量瓶中, 用蒸馏水稀释至刻度, 摇匀, 按实际称取质量计算其准确浓度。实验组中 $m_{2,\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ 为1.800–2.000 g, 对照组中 $m_{2,\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ 分别为0.3000–0.4000 g和0.6000–0.8000 g。

### (3) 酸性溶液中测定水样的化学需氧量。

移取25.00 mL水样分别置于三个锥形瓶中, 向锥形瓶中各加入75 mL蒸馏水, 然后一次性加入 $V_1$  mL已标定的 $\text{KMnO}_4$ 溶液, 10.00 mL 1:3  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液, 加热板温度设置为90–100 °C, 加热煮沸10 min (此时溶液的紫红色不褪去)。取下锥形瓶, 趁热用移液管一次性加入 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 标准溶液 $V_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$  mL, 摇匀 (此时溶液应呈无色透明), 趁热立即用 $V_2$  mL  $\text{KMnO}_4$ 溶液滴至溶液呈微红色, 且在30 s内不褪色。记录 $\text{KMnO}_4$ 溶液的体积, 平行测定三份。计算COD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )和相对平均偏差。

## 3 结果与讨论

### 3.1 $\text{KMnO}_4$ 固体质量对溶液标定结果的影响

实验中固定基准物草酸钠的质量 $m_{1,\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ 在0.1500–0.2000 g之间, 改变配制500 mL高锰酸钾标准溶液时所称取的固体高锰酸钾的质量 $m_{\text{KMnO}_4}$ , 并用滴定分析法标定高锰酸钾溶液的准确浓度, 请见表2。结果发现: 当称量的高锰酸钾质量为0.8–0.9 g时, 滴定草酸钠时所消耗的高锰酸钾溶液体积在45.00 mL以上, 当称量的高锰酸钾质量在1.6–1.7 g时, 滴定时所消耗的高锰酸钾溶液的体积在20.00–30.00 mL之间, 滴定误差相对较小, 所以称取高锰酸钾固体进行溶液配制时, 其质量范围为1.6–1.7 g, 标定得到高锰酸钾溶液的平均浓度为0.02016  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

表2  $\text{KMnO}_4$ 溶液的标定结果

| $m_{\text{KMnO}_4}/\text{g}$ | $m_{1,\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}/\text{g}$ | $V_{\text{KMnO}_4}/\text{mL}$ | $c_{\text{KMnO}_4}^{①}/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ | $\bar{c}_{\text{KMnO}_4}/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ | 相对平均偏差/% |
|------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------|
| 0.8                          | 0.1577                                           | 46.70                         | 0.02520                                                | 0.02517                                                  | 0.1457   |
|                              | 0.1548                                           | 45.86                         | 0.02519                                                |                                                          |          |
|                              | 0.1634                                           | 48.56                         | 0.02511                                                |                                                          |          |
| 1.6                          | 0.1848                                           | 27.40                         | 0.02013                                                | 0.02016                                                  | 0.5126   |
|                              | 0.1818                                           | 27.10                         | 0.02003                                                |                                                          |          |
|                              | 0.1592                                           | 23.40                         | 0.02031                                                |                                                          |          |

$$^{①} c_{\text{KMnO}_4} = \frac{2}{5} \cdot \frac{m_{1,\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}}{134.0} \cdot \frac{1}{V_{\text{KMnO}_4}}$$

### 3.2 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 标准溶液的浓度对实验室自来水中COD测定的影响

标定出高锰酸钾溶液的平均浓度 $\bar{c}_{\text{KMnO}_4}$ 后, 需要先选定草酸钠标准溶液的准确浓度, 再进行水

样中COD的测定。当用标定后的高锰酸钾(如 $\bar{c}_{\text{KMnO}_4} = 0.02016 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )溶液进行COD测定时,如果草酸钠标准溶液浓度过稀(如对照组中 $c_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ 分别为0.01059和0.01879  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ),会导致滴定至终点时所消耗的高锰酸钾溶液体积过少(最多8.52 mL),请见表3,当将草酸钠标准溶液浓度提高至实验组的0.05  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,如 $c_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ 为0.05398  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,一次性加入此浓度高锰酸钾溶液10.00 mL,再一次性加入25.00 mL的草酸钠标准溶液,滴定至终点时,所消耗的高锰酸钾溶液体积平均值为16.89 mL,计算得出的实验室自来水的COD平均值为3.791  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,与文献<sup>[21]</sup>报道的清洁地面水的COD一般小于3–4  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 一致。

表3 草酸钠标准溶液浓度对实验室自来水中COD测定的影响

| $\bar{c}_{\text{KMnO}_4}/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ | $m_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}/\text{g}$ | $c_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$ <sup>②</sup> | $V_1/\text{mL}$ | $V_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}/\text{mL}$ | $V_2/\text{mL}$ | COD/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | $\overline{\text{COD}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | 相对平均偏差 |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|
| 0.02016                                                  | 0.3546                                         | 0.01059                                                                           | 1.00            | 25.00                                           | 4.40            | 4.742                                 | 4.850                                                 | 2.962  |
|                                                          |                                                |                                                                                   |                 |                                                 | 4.40            | 4.742                                 |                                                       |        |
|                                                          |                                                |                                                                                   |                 |                                                 | 4.41            | 5.065                                 |                                                       |        |
|                                                          |                                                | 0.01879                                                                           | 1.00            | 25.00                                           | 8.50            | 5.792                                 | 6.007                                                 | 4.772  |
|                                                          |                                                |                                                                                   |                 |                                                 | 8.52            | 6.437                                 |                                                       |        |
|                                                          |                                                |                                                                                   |                 |                                                 | 8.50            | 5.792                                 |                                                       |        |
|                                                          | 0.6294                                         | 0.01879                                                                           | 5.00            | 25.00                                           | 4.51            | 6.115                                 | 6.975                                                 | 8.220  |
|                                                          |                                                |                                                                                   |                 |                                                 | 4.55            | 7.405                                 |                                                       |        |
|                                                          |                                                |                                                                                   |                 |                                                 | 4.55            | 7.405                                 |                                                       |        |
|                                                          |                                                | 0.01879                                                                           | 10.00           | 30.00                                           | 1.55            | 11.79                                 | 12.11                                                 | 7.102  |
|                                                          |                                                |                                                                                   |                 |                                                 | 1.60            | 13.40                                 |                                                       |        |
|                                                          |                                                |                                                                                   |                 |                                                 | 1.53            | 11.14                                 |                                                       |        |
|                                                          | 1.8082                                         | 0.05398                                                                           | 10.00           | 25.00                                           | 16.90           | 4.006                                 | 3.791                                                 | 7.562  |
|                                                          |                                                |                                                                                   |                 |                                                 | 16.88           | 3.361                                 |                                                       |        |
|                                                          |                                                |                                                                                   |                 |                                                 | 16.90           | 4.006                                 |                                                       |        |

$$^{\text{②}} c_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4} = \frac{m_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}}{134.0 \times V_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}}$$

### 3.3 学生对不同水样中化学需氧量的测定结果对比

实验中学生分为实验组和对照组分别进行实验。实验条件为:称量1.6–1.7 g的高锰酸钾用于配制高锰酸钾溶液,准确称量1.800–2.000 g的草酸钠用于配制草酸钠标准溶液,且 $V_1 = 10.00 \text{ mL}$ , $V_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4} = 25.00 \text{ mL}$ 。实验组中的25名学生采用津南校区实验室中自来水作为待测水样,对照组的58名学生则采用中水站消毒池中的生活污水作为测定对象,自主进行高锰酸钾溶液的配制及标定,再用配制的草酸钠标准溶液进行测定,根据滴定数据计算水样中的COD值。结果显示,实验组学生测得的实验室自来水的COD平均值为7.570  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,对照组学生测得的中水站消毒池中的生活污水COD平均值为16.36  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,表明中水站消毒池中的生活污水里含有的有机化合物及还原性物质含量明显高于实验室中自来水,实现了通过基础分析化学实验使学生获得对环境学科知识感性认识的目标。

## 4 实验考核

本实验考核评分由“预习报告(10%)+课堂实验操作(30%)+实验结果(40%,含实验报告规范撰写和实验数据精密度情况)+实验素养(20%)”四部分构成。实验课堂教学中,注重考查学生的化学基本操作技能、设备的基本操作、实验数据采集的严谨性与客观性、数据处理的科学性,要求学生必须到实验室进行实践操作,教师和研究生助教通过课堂巡回检查可基本了解学生对分析天平称量操作

(15%)、溶解过程操作(10%)、转移与定容操作(25%)、溶液移取操作(10%)、滴定管的润洗、滴定、读数操作(30%)和数据记录(10%)的掌握情况和规范性。实验报告撰写的规范性及实验结果的精密度评价标准按实验中心要求进行评价。

## 5 教学效果评价

2022–2023学年第一学期的实验教学中,150名学生的实验完成度为100%,学生实验平均分为86分,其中4名学生在2022年天津市科学实验展演比赛中获得优秀奖。课程结束后及时对145名学生和5名教师进行问卷调查,问卷内容见表4。结果表明:学生和教师都对本实验的教学内容及教学过程予以高度评价(平均分为9.6和9.2分,见图1A和B),认为本实验在培养具有环境与化学学科知识的学生方面具有重要作用(评价的平均分为9.5和9.8分)。由图1A可知,学生认为本实验能有效帮助他们分析与解决问题能力(平均分为9.4和9.8分)、动手操作能力、实验现象观察能力以及数据收集、归纳处理能力的提高,教学育人效果明显。

## 6 拓展实验设计

学生可自行采集南开大学津南校区中水站清水池或曝气池或学校周边河流中的水样作为待测水样,采用高锰酸钾法进行水样中总耗氧量的测定。此外,本实验为酸性水样中COD的测定,学生可尝试在碱性介质中用 $\text{KMnO}_4$ 氧化有机化合物,待氧化反应完成后,用碘量法滴定或者采用重铬酸钾法测定水样的化学需氧量,从而提高学生的基础化学实验知识与实验操作基本技能。

表4 学生(Q1–Q10)与教师(Q'1–Q'5)对本实验内容及教学效果的评价情况调查

| 题序       | 问卷内容                                                             | 评价    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |    |
|----------|------------------------------------------------------------------|-------|----|-----|----|----|----|------|----|----|----|----|
| Q1       | 通过本实验,您对环境监测水样污染程度重要指标之一的化学需氧量知识的理解程度                            | 10分   | 9分 | 8分  | 7分 | 6分 | 5分 | 4分   | 3分 | 2分 | 1分 | 0分 |
| Q2       | 本实验是否可以帮助您掌握高锰酸钾标准溶液的配制以及标定方法?                                   | 非常有帮助 |    | 有帮助 |    | 一般 |    | 没有帮助 |    |    |    |    |
| Q3, Q'2  | 您认为本实验在培养具有环境与化学学科知识学生方面的作用进行打分                                  | 10分   | 9分 | 8分  | 7分 | 6分 | 5分 | 4分   | 3分 | 2分 | 1分 | 0分 |
| Q4       | 请您结合实践情况,对进行了氧化还原滴定分析方法中的高锰酸钾法测定水样中化学需氧量实验后,自己对此实验原理和方法的掌握程度进行打分 | 10分   | 9分 | 8分  | 7分 | 6分 | 5分 | 4分   | 3分 | 2分 | 1分 | 0分 |
| Q5       | 学习本实验后,请对您掌握基准物质的特性情况进行打分                                        | 10分   | 9分 | 8分  | 7分 | 6分 | 5分 | 4分   | 3分 | 2分 | 1分 | 0分 |
| Q6, Q'4  | 结合本实验操作过程,请您对本实验提高学生分析与解决问题能力方面打分                                | 10分   | 9分 | 8分  | 7分 | 6分 | 5分 | 4分   | 3分 | 2分 | 1分 | 0分 |
| Q7, Q'5  | 本实验对学生动手操作能力以及对实验现象观察能力的提高是否有帮助?                                 | 非常有帮助 |    | 有帮助 |    | 一般 |    | 没有帮助 |    |    |    |    |
| Q8       | 本实验是否有助于学生团队合作能力的提高?                                             | 非常有帮助 |    | 有帮助 |    | 一般 |    | 没有帮助 |    |    |    |    |
| Q9, Q'3  | 本实验是否有助于学生提高对实验数据的记录、归纳、分析及处理能力?                                 | 非常有帮助 |    | 有帮助 |    | 一般 |    | 没有帮助 |    |    |    |    |
| Q10, Q'1 | 请您对本实验的整体内容以及教学过程进行打分                                            | 10分   | 9分 | 8分  | 7分 | 6分 | 5分 | 4分   | 3分 | 2分 | 1分 | 0分 |

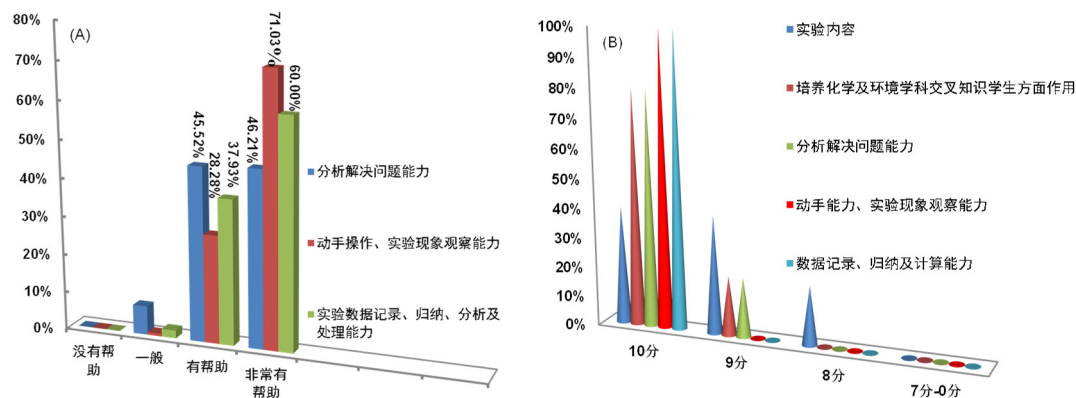


图1 (A) 学生对实验的评价; (B) 教师对实验内容及教学效果的评价

## 7 结语

通过本实验的实践训练, 学生可掌握一种测定水样中有机物和还原性物质的氧化还原滴定分析方法, 并具备了一定评判水体污染程度的能力。问卷调查表明, 本实验有助于培养学生运用化学专业知识融会贯通地解决环境领域实际问题的能力、跨学科综合思维能力以及数据归纳计算能力, 有利于培养多学科知识背景复合型人才。教学实践表明, 该实验内容全面, 课时合理, 育人效果明显, 适合为化学、环境工程和资源循环科学与工程等专业学生开设。

## 参 考 文 献

- [1] 冯华杰, 孙振范, 崇太. 化学教育, **2022**, 43 (18), 71.
- [2] 刘文晶, 刘晓真, 王丹, 张水合, 王育华. 实验室科学, **2022**, 25 (5), 127.
- [3] 王寅, 沈成君, 高强, 杜锐. 实验技术与管理, **2021**, 38 (12), 203.
- [4] 田东亮, 钱建刚, 翟锦, 闻利平. 实验室研究与探索, **2022**, 41 (2), 219.
- [5] 刘艳玲, 阴彩霞. 大学化学, **2022**, 37 (7), 2201028.
- [6] 田东亮. 大学化学, **2022**, 37 (2), 2105031.
- [7] 高明慧. 实验室科学, **2016**, 19 (5), 137.
- [8] 张扬. 现代测量与实验室管理, **2016**, 24 (5), 68.
- [9] 张树永, 张剑荣, 陈六平. 大学化学, **2016**, 31 (9), 1.
- [10] 房川琳, 熊庆, 苏燕. 实验技术与管理, **2021**, 38 (1), 28.
- [11] 倪正民. 广州化工, **2020**, 48 (12), 141.
- [12] 刘宇昂, 刘晓红, 李姝, 叶世海, 李国然, 言天英. 大学化学, **2023**, 38 (9), 227.
- [13] 陈红云. 实验科学与技术, **2021**, 19 (4), 126.
- [14] 中国环保产业, **2022**, No. 9, 100.
- [15] 单树楠, 李嫻, 张雷, 张昉. 实验室研究与探索, **2021**, 40 (11), 145.
- [16] 魏琴, 盛永丽. 无机及分析化学实验. 第2版. 北京: 科学出版社, 2018: 138.
- [17] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5750.7-2006 生活饮用水标准检验方法有机物综合指标. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [18] 李厚金, 石建新, 邹小勇. 基础化学实验. 第2版. 北京: 科学出版社, 2015: 195.
- [19] 张立庆, 李菊清, 俞远志. 无机及分析化学实验. 杭州: 浙江大学出版社, 2011: 131.
- [20] 黄翠红. 山东化工, **2022**, 51 (22), 148.
- [21] 邱晓航, 李一峻, 韩杰, 尚贞锋. 基础化学实验. 第2版. 北京: 科学出版社, 2017: 161.