

## 碘量法测铜实验中“异常现象”的探究

陈蓝苍鸿<sup>1,†</sup>, 余行泰<sup>1</sup>, 赵天磊<sup>2,\*</sup>, 姚奇志<sup>1,3,\*</sup>

<sup>1</sup> 中国科学技术大学化学与材料科学学院, 合肥 230026

<sup>2</sup> 中国科学技术大学地球与空间科学学院, 合肥 230026

<sup>3</sup> 化学国家级实验教学示范中心(中国科学技术大学), 合肥 230026

**摘要:** “碘量法测定铜合金中铜含量”是大学分析化学实验中重要的实验内容之一, 某学生在进行该实验时, 错将20% KSCN溶液当作HAc-NaAc缓冲溶液进行实验。尽管其最终沉淀仍为CuSCN, 但滴定结果存在显著差异。针对这一异常现象, 笔者通过文献调研, 提出了几点可能的解释, 并设计相应实验进行探究和验证。通过对实验中间产物的系统分析, 证实了相关的反应过程和机制, 阐明了异常现象产生的原因。这不仅培养了学生分析和解决问题的能力, 也训练了学生逻辑思维和科学实验思维。

**关键词:** 碘量法; 铜测定; 异常现象; 反应机理

**中图分类号:** G64; O6

## Exploration of Abnormal Phenomena in Iodometric Copper Quantitation Experiment

Lancanghong Chen<sup>1,†</sup>, Xingtai Yu<sup>1</sup>, Tianlei Zhao<sup>2,\*</sup>, Qizhi Yao<sup>1,3,\*</sup>

<sup>1</sup> School of Chemistry and Materials Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China.

<sup>2</sup> School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China.

<sup>3</sup> National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (University of Science and Technology of China), Hefei 230026, China.

**Abstract:** The iodometric determination of copper in alloys represents a fundamental experiment in analytical chemistry education. This study examines a notable case where a student erroneously used 20% KSCN solution instead of the prescribed HAc-NaAc buffer solution, yet surprisingly obtained CuSCN precipitate matching that of the standard procedure, albeit with significant discrepancies in titration results. Through systematic investigation of reaction intermediates and experimental validation, we elucidate the underlying chemical mechanisms responsible for this anomaly. This pedagogical approach not only enhances students' problem-solving capabilities but also demonstrates proper scientific investigation methodology for addressing unexpected experimental outcomes.

**Key Words:** Iodometric method; Copper determination; Abnormal phenomena; Reaction mechanism

### 1 引言

碘量法是基于I<sub>2</sub>的氧化性和I<sup>-</sup>的还原性进行测定的一种常用氧化还原滴定法。直接碘量法利用I<sub>2</sub>的氧化性, 直接滴定多种强还原剂, 如: Sn<sup>2+</sup>、Sb<sup>3+</sup>、As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、S<sup>2-</sup>、SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>等; 间接碘量法利用I<sup>-</sup>的还

收稿: 2024-08-20; 录用: 2024-10-16; 网络发表: 2025-04-15

<sup>†</sup>2021级本科生

<sup>\*</sup>通讯作者, Emails: qzyao@ustc.edu.cn (姚奇志); zhaotian@ustc.edu.cn (赵天磊)

基金资助: 安徽省高等学校省级质量工程项目(2021jyxm1730, 2021xxkc205); 中国科学技术大学本科质量工程项目(2024xjyxm083); 首批教育部虚拟教研室(大学化学实验课程群虚拟教研室)建设项目; 2024年教育部实验教学和教学实验室建设研究项目(SYJX2024-068)

原性, 与氧化性物质如 $\text{KMnO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{KIO}_3$ 等反应, 生成 $\text{I}_2$ , 然后用还原剂 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定生成的 $\text{I}_2$ , 从而间接地测定这些氧化性物质含量。此法中 $\text{I}_2/\text{I}^-$ 电对可逆性好, 其电位在很大的pH范围内( $\text{pH} < 9$ )不受酸度和其它络合剂的影响; 使用的指示剂淀粉灵敏度高, 终点变色易于观察, 因此碘量法成为一种应用十分广泛的滴定分析法。其主要缺点是 $\text{I}_2$ 易挥发和 $\text{I}^-$ 易被空气氧化, 但通过控制适当的酸度、温度、光照并去除有催化作用的杂质等, 碘量法仍可以得到准确的测定结果<sup>[1]</sup>。

大学分析化学实验中“碘量法测定铜合金中铜含量”实验即采用了间接碘量法, 其实验过程大致为: 首先使用1:3  $\text{HNO}_3$ 溶解铜合金样品, 通过氨水和醋酸调控溶液pH, 使溶液的pH控制在3–4范围内, 随后加入 $\text{pH} = 3.5$ 的 $\text{HAc-NaAc}$ 缓冲溶液, 以稳定滴定过程中溶液的pH; 再加入1g  $\text{KI}$ , 此时, 体系中的 $\text{Cu}^{2+}$ 被 $\text{I}^-$ 完全还原生成白色 $\text{CuI}$ 沉淀, 同时 $\text{I}^-$ 被定量氧化形成单质 $\text{I}_2$ 。立即用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定至溶液呈浅黄色; 加入质量分数为20%的 $\text{KSCN}$ 溶液, 使 $\text{CuI}$ 沉淀转化为 $\text{CuSCN}$ 白色沉淀从而释放出吸附的 $\text{I}_2$ , 继续用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定至黄色几乎消失, 加入淀粉溶液, 滴定至深蓝色消失即为终点; 通过消耗的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液体积计算铜合金中铜的含量。

该实验成功与否主要取决于: ① 加入氨水调控溶液pH过程中要边滴加边摇动, 避免生成铜氨络合离子, 影响后续对pH的调控; ② 滴定过程要“快速滴加缓慢摇动”, 减少 $\text{I}_2$ 的挥发或 $\text{I}^-$ 被空气氧化; ③ 加入20%  $\text{KSCN}$ 和淀粉指示剂的时机需合适, 不能过早或过晚。实验过程中, 只要掌握了这些关键步骤, 即可获得准确的测定结果。

然而, 在教学实验过程中, 学生难免存在误操作, 产生一些难以解释的“异常现象”。例如: 向体系加入 $\text{HAc-NaAc}$ 缓冲溶液的操作中, 某学生错把20%  $\text{KSCN}$ 溶液当作 $\text{HAc-NaAc}$ 缓冲溶液加入, 原本浅蓝色透明的 $\text{Cu}^{2+}$ 溶液立即变为棕褐色浑浊液, 后又逐渐变为白色浑浊液。随后该同学按教材后续步骤继续进行滴定操作。实验现象正常, 终点突变明显, 但滴定所消耗的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液为4.11 mL, 远低于该份样品理论上需要消耗的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液体积21.72 mL。课后, 对滴定后的产物沉淀进一步分析表征, 显示沉淀为纯 $\text{CuSCN}$ , 与正确实验操作得到的最终产物完全相同, 而测定结果出现了显著偏差。

笔者通过对沉淀形成过程、溶液颜色变化等现象进行观察和分析, 提出了以下可能的解释: ① 误操作条件下, 体系中的 $\text{Cu}^{2+}$ 可能与 $\text{SCN}^-$ 结合先生成了黑色 $\text{Cu}(\text{SCN})_2$ 沉淀<sup>[2]</sup>, 导致溶液呈现棕褐色浑浊; 随后 $\text{Cu}(\text{SCN})_2$ 在水相中自发发生分解反应, 生成黄色液体 $(\text{SCN})_2$ 和白色沉淀 $\text{CuSCN}$ <sup>[3]</sup>。② 体系中 $\text{Cu}^{2+}$ 与 $\text{SCN}^-$ 先发生氧化还原反应, 生成红褐色沉淀 $\text{Cu}_2\text{O}$ <sup>[4]</sup>, 随后 $\text{Cu}_2\text{O}$ 在酸性环境中与 $\text{SCN}^-$ 发生反应, 生成白色沉淀 $\text{CuSCN}$ 。上述两种反应过程均能得到 $\text{CuSCN}$ 白色沉淀。然而, 其真实反应过程到底如何, 白色沉淀又是什么? 仍未明确。同时, 实验中错误加入的 $\text{KSCN}$ 的物质的量远高于溶液中 $\text{Cu}^{2+}$ 的物质的量, 体系中的 $\text{Cu}^{2+}$ 应当完全转化为 $\text{CuSCN}$ 白色沉淀, 但在后续的实验中, 仍然发生了碘的变色反应, 是什么物质将 $\text{I}^-$ 氧化为 $\text{I}_2$ , 也未明确。为此, 笔者设计相关实验, 并通过对反应过程中沉淀产物的分析和表征, 探究可能的反应过程及机制; 在此基础上, 通过改变20%  $\text{KSCN}$ 溶液加入体积, 探究不加入 $\text{HAc-NaAc}$ 缓冲溶液而直接加入20%  $\text{KSCN}$ 溶液后, 再用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定时, 为什么仍然能够发生碘的变色反应。

## 2 实验部分

### 2.1 实验试剂

重铬酸钾(AR), 硫代硫酸钠(AR), 碘化钾(AR), 硫氰化钾(AR), 铜合金样品(含铜61.16%), 0.5% 淀粉溶液(AR), 1:1氨水(AR), 6 mol·L<sup>-1</sup>醋酸(AR), 3 mol·L<sup>-1</sup>盐酸(AR), 1:3硝酸(AR)。pH = 3.5的 $\text{HAc-NaAc}$ 缓冲溶液(AR), 以上试剂均购自国药集团。

### 2.2 溶液配制

① 0.01 mol·L<sup>-1</sup>重铬酸钾标准溶液: 准确称取 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 固体(180 °C烘2h) 0.28–0.32 g于100 mL烧杯中, 加50 mL蒸馏水使其溶解, 定量转移到100 mL容量瓶中, 用蒸馏水稀释至刻度, 摇匀备用。

② 0.05 mol·L<sup>-1</sup>硫代硫酸钠溶液：在台秤上称取6.5 g硫代硫酸钠，溶于500 mL蒸馏水中，转移到500 mL试剂瓶中，摇匀备用。

③ 20%硫氰化钾溶液：在台秤上称取20.0 g硫氰化钾，溶于100 mL蒸馏水中，摇匀备用。

## 2.3 实验探究方案

### 2.3.1 硫代硫酸钠溶液的标定

用移液管移取25.00 mL K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>标准溶液置于250 mL锥形瓶中，加入3 mol·L<sup>-1</sup> HCl 5 mL、1 g碘化钾，摇匀后放置暗处5 min。待反应完成后，用蒸馏水稀释至50 mL。用硫代硫酸钠溶液滴定至草绿色。加入2 mL淀粉溶液，继续滴定至溶液突变为浅绿色，即为终点。平行标定三份，计算硫代硫酸钠溶液的浓度，数据见表1。

### 2.3.2 铜合金标准溶液配制

准确称取1.2 g左右的铜合金样品，置于250 mL烧杯中，加入1:3 HNO<sub>3</sub> 50 mL，在通风橱中小火加热，至不再有棕色烟产生，继续慢慢加热至合金溶解完全。蒸发溶液至约20 mL体积。从加热板上取下，冷却后，用少量蒸馏水吹洗杯壁，加入100 mL蒸馏水稀释溶液，并煮沸使可溶盐溶解，取下冷却后转移至250 mL容量瓶中，用蒸馏水定容至刻度，摇匀备用。

### 2.3.3 KSCN溶液替换缓冲溶液实验

准确移取25.00 mL铜合金标液于250 mL锥形瓶中，煮沸。趁热逐滴滴加1:1氨水，边滴边摇，滴加至刚有白色沉淀出现；再逐滴加入6 mol·L<sup>-1</sup> HAc，滴加至沉淀完全溶解后，过量1-2滴。加入20% KSCN溶液5 mL，摇匀，体系由浅蓝色溶液变为棕褐色浊液，立即过滤、洗涤并于室温干燥，得到黑色沉淀，即样品1。

在前置操作得到棕褐色浊液后，继续振荡，直至溶液逐渐变为白色。静置，得到黄色溶液和白色沉淀，过滤、洗涤、室温干燥，收集白色沉淀，即样品2。

沉淀样品的相组成和结构采用Rigaku SmartLab型9 kW转靶X射线衍射仪(XRD)进行分析，其工作电压、电流以及扫描步长分别设置为40 kV、200 mA和0.02 (°)/s。通过Hitachi SU8220型场发射扫描电子显微镜(FESEM)观察样品颗粒形貌和大小，其工作电压为2.0 kV。

### 2.3.4 KSCN溶液替换缓冲溶液后，发生碘的变色反应的原因的探究

准确移取25.00 mL铜合金标液2份，分别置于2个250 mL锥形瓶中，煮沸。趁热逐滴滴加1:1氨水，至刚有白色沉淀出现。再逐滴加入6 mol·L<sup>-1</sup> HAc，摇匀至沉淀完全溶解后，过量1-2滴。一份加入2 mL 20% KSCN溶液，另一份加入10 mL 20% KSCN溶液。待溶液体系稳定后，分别向两份溶液中加入1.0 g碘化钾，摇匀。立即用Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>溶液滴定至黄色几乎消失。然后加入0.5% 淀粉溶液3 mL，继续滴定至深蓝色消失。记录两组消耗的Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>溶液的体积，进行比较分析，数据见表2。

## 2.4 实验记录与结果

表1 硫代硫酸钠标准溶液标定数据

重铬酸钾质量(g)	0.3174		
重铬酸钾标准溶液浓度(mol·L <sup>-1</sup> )	0.01080		
标定硫代硫酸钠溶液消耗的体积(mL)	27.09	27.08	27.05
硫代硫酸钠溶液浓度(mol·L <sup>-1</sup> )	0.05852	0.05851	0.05844
硫代硫酸钠溶液平均浓度(mol·L <sup>-1</sup> )	0.05850		

表2 加入不同体积KSCN溶液的滴定结果

滴定数据	第一组	第二组	第三组	平均值
第1组，消耗硫代硫酸钠溶液体积	3.04 mL	3.02 mL	3.08 mL	3.05 mL
第2组，消耗硫代硫酸钠溶液体积	2.98 mL mL	2.85 mL mL	2.90 mL	2.91 mL

第1组溶液加入2 mL KSCN溶液，第2组溶液加入10 mL KSCN溶液。(注：该铜试样理论应消耗Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>标准溶液18.90 mL)

### 3 结果与讨论

#### 3.1 反应中间产物组成和结构的分析表征

图1a是起始反应获得的黑色沉淀(样品1)的X-射线谱图,该谱图中窄和锐的衍射峰可以指标化为三方晶系(空间群 $R3m$ )的硫氰化亚铜( $\text{CuSCN}$ )的(003)、(101)和(110)衍射;而宽化的“驼峰”指示该样品中含有非晶态沉淀。此外,相比于非晶峰,结晶相衍射的峰强较弱,表明该样品以非晶相沉淀为主。进一步地,场发射扫描电镜(FESEM)观察发现,该样品由两种大小不同的球形颗粒组成(图2a),可能分别对应于XRD分析中两种不同的物相。其中占主导地位的小球尺寸在 $1\ \mu\text{m}$ 以内,且球体表面光滑(图2b),而大球尺寸约 $2\ \mu\text{m}$ ,且表面粗糙不平(图2c)。由此不难判断,小的球形颗粒可以指定为沉淀的非晶相,而大球对应的应该是结晶的 $\text{CuSCN}$ ,其粗糙表面进一步反映了其结晶本质。相应的Mapping分析结果显示(图2d-h),非晶质小球和结晶大球均包含C、N、S和Cu四种元素,结合起始沉淀颜色为黑色的特征,该非晶相应为 $\text{Cu}(\text{SCN})_2$ 。

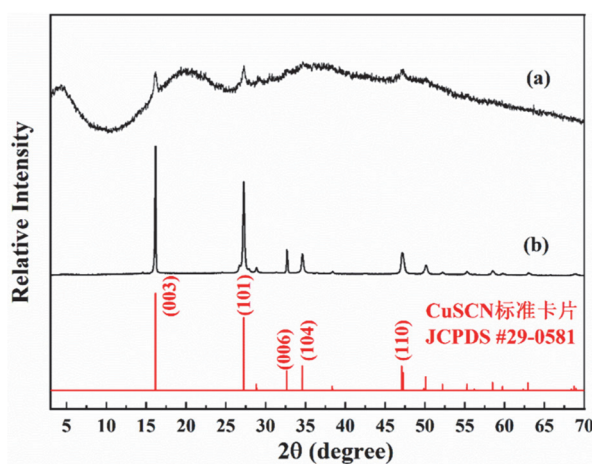


图1 样品1 (a)和样品2 (b)的XRD谱图

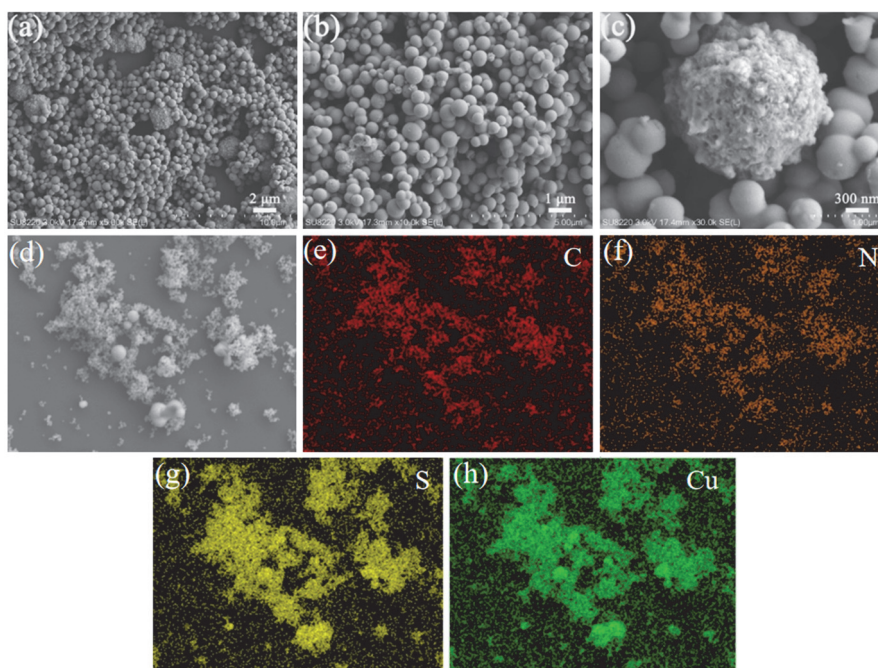


图2 样品1的FESEM全景照片(a)、局部放大照片(b-c)以及Mapping照片(d-h)

图1b为由起始的黑色沉淀转化形成的白色沉淀(样品2)的XRD谱图。该样品的全部衍射峰均可较好地指标化为三方晶系的CuSCN, 证实此时形成的白色沉淀为结晶的CuSCN。尖而锐的衍射峰指示该晶体生长完善、结晶性高。相应的FESEM照片(图3)显示产物形貌为短柱状结构, 结合XRD分析结果, 不难得出, 其柱状晶体是由单形平行双面{0001}、三方柱{10-10}和{11-20}组成的聚形结构。

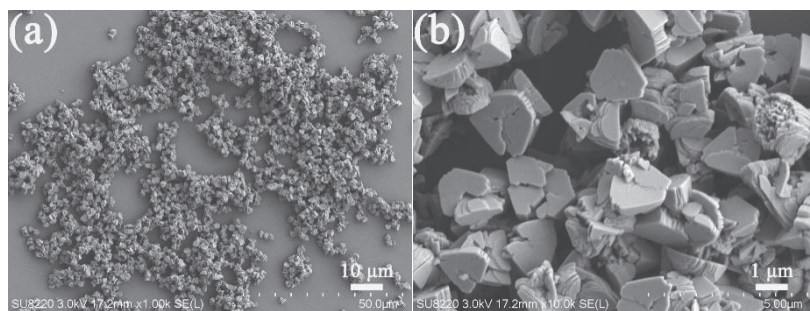
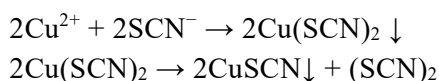


图3 样品2的FESEM全景照片(a)以及局部放大照片(b)

### 3.2 KSCN溶液与铜合金标液反应机理的分析

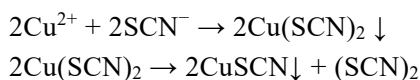
通过对不同沉淀样品的XRD、FESEM及EDX结果进行分析, 可以确定: 将HAc-NaAc缓冲溶液替换为20% KSCN溶液进行实验时, 反应的起始沉淀为非晶Cu(SCN)<sub>2</sub>黑色沉淀, 随后形成的白色沉淀为结晶相CuSCN。具体反应过程为: 随着20% KSCN溶液的快速添加, 溶液迅速到达过饱和, Cu<sup>2+</sup>与SCN<sup>-</sup>反应, 生成了非晶相Cu(SCN)<sub>2</sub>黑色沉淀。由于非晶Cu(SCN)<sub>2</sub>沉淀能量高, 在溶液中不稳定, 非晶Cu(SCN)<sub>2</sub>在水相中立即开始分解, 生成结晶相CuSCN白色沉淀和(SCN)<sub>2</sub>黄色液体, 此时体系中的显色物质为非晶相Cu(SCN)<sub>2</sub>黑色沉淀与(SCN)<sub>2</sub>黄色液体, 黑色沉淀与黄色溶液共同形成浊液, 导致体系呈现为棕褐色浊液; 随着非晶相Cu(SCN)<sub>2</sub>在水相中继续分解, 直至完全转化为结晶相CuSCN白色沉淀, (SCN)<sub>2</sub>自身在水相中快速分解, 在非晶相CuSCN转化完全, 且(SCN)<sub>2</sub>分解至基本不显色后, 体系中显色物质为结晶相CuSCN白色沉淀, 白色沉淀与无色溶液形成浊液, 使体系呈白色浊液, 与实验现象相符合。实验证实的上述反应过程和机理, 与实验中体系由浅蓝色溶液→棕褐色浊液→白色浊液的演化的实验现象完全一致。

综合以上实验结果, 可以得出: 笔者提出的猜想①是正确的, 向铜合金标液中加入KSCN的反应历程为:



### 3.3 KSCN溶液替换缓冲溶液后, 发生碘的变色反应的原因

我们已经证明了向铜合金标液中加入KSCN的反应历程为:



对于充分反应后的溶液, 反应生成的(SCN)<sub>2</sub>为强氧化性物质, 可以氧化I<sup>-</sup>生成I<sub>2</sub>, 因此后续实验中碘的变色反应可以发生, 可以使用标定过的Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>溶液对样品溶液进行滴定。

向铜合金标液中加入2 mL KSCN溶液进行反应, 最终的平均滴定结果为3.05 mL (表1); 向铜合金标液中加入10 mL KSCN溶液进行反应, 最终的平均滴定结果为2.91 mL (表2)。与Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>溶液理论消耗量18.90 mL进行对比, 两组实验的Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>溶液实际消耗量的减小幅度基本一致。

对实验数据进行分析, 滴定消耗的标准溶液量与溶液中的(SCN)<sub>2</sub>的物质的量成正相关, 而(SCN)<sub>2</sub>在水相中不稳定易分解, 分解反应方程式为<sup>[5]</sup>:



分解产物均无法氧化 $\Gamma$ 。因此,实验过程中, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液实际消耗量远低于理论值的原因:  $\text{Cu}(\text{SCN})_2$ 自分解生成白色 $\text{CuSCN}$ 沉淀的同时,也生成了氧化性的 $(\text{SCN})_2$ ,而 $(\text{SCN})_2$ 在水相中大量分解,仅有少量溶于溶液中,导致 $(\text{SCN})_2$ 与 $\text{KI}$ 反应生成的 $\text{I}_2$ 的物质的量相较于理论情况显著偏小,最终导致滴定溶液实际消耗量远低于理论值。而 $(\text{SCN})_2$ 在水溶液中的饱和浓度基本为定值,因此,加入2 mL  $\text{KSCN}$ 溶液与加入10 mL  $\text{KSCN}$ 溶液滴定结果较为相近。而两组实验数据之间的差异,可能与加入 $\text{KSCN}$ 量相关,导致两组溶液中最终 $(\text{SCN})_2$ 的物质的量不同,使滴定结果存在差异。

由实验结果综合分析可得:使用20%  $\text{KSCN}$ 溶液替换 $\text{HAc-NaAc}$ 缓冲溶液时,铜合金标液体系中的 $\text{Cu}^{2+}$ 与 $\text{SCN}^-$ 反应生成 $\text{CuSCN}$ 和 $(\text{SCN})_2$ 。生成的 $(\text{SCN})_2$ 可以氧化 $\Gamma$ 生成 $\text{I}_2$ ,使碘的变色反应仍可以发生,后续滴定操作仍可以进行,但由于 $(\text{SCN})_2$ 具有在水相中不稳定、易分解的性质,导致其在实验过程中大量损失,最终只有少量的 $(\text{SCN})_2$ 参与氧化 $\Gamma$ ,导致 $\text{I}_2$ 生成量显著偏小,进而使滴定结果远低于理论值。

#### 4 结语

探究实验结果表明,在碘量法测定铜合金中铜含量实验中,若将 $\text{HAc-NaAc}$ 缓冲溶液替换为20%  $\text{KSCN}$ 溶液,最终的滴定结果会显著偏小。其反应机理为:铜合金标液中的 $\text{Cu}^{2+}$ 与 $\text{SCN}^-$ 结合,生成非晶相 $\text{Cu}(\text{SCN})_2$ 黑色沉淀,随后非晶相 $\text{Cu}(\text{SCN})_2$ 在水相中分解产生结晶相 $\text{CuSCN}$ 白色沉淀和黄色氧化性液体 $(\text{SCN})_2$ 。反应生成的 $(\text{SCN})_2$ 可以氧化 $\Gamma$ 生成 $\text{I}_2$ ,使后续实验中碘的变色反应仍可以发生,滴定操作仍可以进行,但 $(\text{SCN})_2$ 在水相中易分解,在滴定操作过程中大量损失,使得溶液中 $(\text{SCN})_2$ 的物质的量无法准确反映溶液中 $\text{Cu}^{2+}$ 的物质的量,导致实验结果与理论值之间存在显著的偏差。因此,对于碘量法测定铜合金中铜含量实验,一旦错将20%  $\text{KSCN}$ 溶液当作 $\text{HAc-NaAc}$ 缓冲溶液,则会导致实验测定结果显著偏小,且滴定结果与被测铜含量无定量关系。

#### 参 考 文 献

- [1] 金谷,姚奇志,江万权,胡祥余,李娇. 分析化学实验. 合肥:中国科学技术大学出版社,2010:157-160.
- [2] Cliffe, M. J.; Lee, J.; Paddison, J. A. M.; Schott, S.; Mukherjee, P.; Gaultois, M. W.; Manuel, P.; Siringhaus, H.; Dutton, S. E.; Grey, C. P. *Phys. Rev. B* **2018**, *97* (14), 144421
- [3] 华缜,靳正国,武卫兵,程志捷. 应用化学. **2005**, No. 2, 138.
- [4] Liang, K. W.; Li, X. R.; Lv, G. C.; Yu, X. L.; Liu, Z. W.; Liao, L. B.; An, X. Q. *Cryst. Growth Des.* **2024**, *24*, 6592.
- [5] Tudela, D. J. *Chem. Edu.* **1993**, *70* (2), 89.